

Resumen

El anexo A hace referencia a un caso real de daños en turbina producidos por la cavitación. Se trata de la central de El Guri, en Venezuela.

Las cifras con las que trabajaré serán aproximadas, pues son pocos los artículos hallados que aportan información cuantitativa. A esto hay que sumar la situación política del país, con una –en ocasiones- asfixiante falta de transparencia informativa.

En cualquier caso, la problemática de El Guri responde –a mi entender- al espíritu del estudio y puede revelar de forma clara y explícita las consecuencias del fenómeno de la cavitación. Servirá, además, para mostrar de una manera práctica el resultado de obviar el mantenimiento en las turbinas, laxitud que aquí se tradujo en un serio problema económico de índole nacional.

Así pues, tras haber efectuado una estimación del presupuesto necesario para la detección de cavitación en turbina Francis (ver memoria), pasamos a ver el coste real de tener que afrontar una reparación en uno de los potentes grupos que conforman el operativo de una central.

En el Anexo B se consignan la mayoría de gráficas realizadas para las diversas técnicas aplicadas, apareciendo tanto las ya vistas en el capítulo 9 de la memoria (Resultados) como otras que no cupieron por cuestiones de espacio o simple claridad expositiva.





Sumario

	RESUMEN	1
	SUMARIO	3
A.	EL CASO GURI: ANÁLISIS DE LOS COSTES	5
A.1.	Ubicación y etapas constructivas.....	5
A.2.	Capacidad de generación.....	6
A.3.	Problemática del sector en Venezuela.....	7
A.4.	Antecedentes de la crisis de El Guri.....	8
A.5.	Consecuencias de una reducción en el rendimiento.....	9
A.6.	Calidad del servicio.....	10
A.7.	Recortes de prensa.....	11
A.8.	Costes.....	15
B.	REPRESENTACIONES GRÁFICAS	17
B.1.	Gráficas para las altas frecuencias.....	17
B.1.1.	Punto de funcionamiento 158 (sin cavitación).....	17
B.1.2.	Punto de funcionamiento 159 (salida álabe).....	21
B.1.3.	Punto de funcionamiento 160 (salida + Von Karman).....	25
B.1.4.	Punto de funcionamiento 161 (de burbuja).....	29
B.1.5.	Punto de funcionamiento 162 (entrada).....	33
B.1.6.	Punto de funcionamiento 163 (sin cavitación).....	37
B.1.7.	Punto de funcionamiento 164 (salida álabe).....	41
B.1.8.	Punto de funcionamiento 165 (burbuja).....	45



B.1.9.	Punto de funcionamiento 166 (entrada).....	49
B.1.10.	Punto de funcionamiento 167 (salida + Karman).....	53
B.2.	Ampliaciones (algunas gráficas al detalle).....	57
B.3.	Gráficas para la demodulación.....	62
B.3.1.	Punto de funcionamiento 160 (salida + Von Karman).....	62
B.3.2.	Punto de funcionamiento 161 (burbuja).....	64
B.3.3.	Punto de funcionamiento 162 (entrada).....	66
B.3.4.	Punto de funcionamiento 163 (sin cavitación).....	68
B.3.5.	Punto de funcionamiento 164 (salida álabe).....	69
B.3.6.	Punto de funcionamiento 165 (burbuja).....	70
B.3.7.	Punto de funcionamiento 166 (entrada).....	71
B.4.	Gráficas para las envolventes.....	72
B.4.1.	Punto de funcionamiento 163 (sin cavitación).....	72
B.4.2.	Punto de funcionamiento 164 (salida álabe).....	75
B.4.3.	Punto de funcionamiento 165 (burbuja).....	78
B.4.4.	Punto de funcionamiento 166 (entrada).....	81
B.4.5.	Punto de funcionamiento 167 (salida + Von Karman).....	84



A. El caso Guri: análisis de los costes

El siguiente estudio de un caso real, sub-dividido en ocho apartados, tratará de ilustrar sobre los efectos de la aparición de cavitación y la consecuente caída en el rendimiento de una central hidroeléctrica.

La información ha sido extraída íntegramente de internet a lo largo de los 9 meses empleados en la elaboración de este proyecto.

Se concluye con una valoración económica de dichas consecuencias, cifra que contrastará fuertemente con el presupuesto de nuestra propuesta original.

A.1. Ubicación y etapas constructivas

La Central Hidroeléctrica "Raúl Leoni", también conocida como la represa del Guri, se encuentra ubicada a unos 90 km. aguas arriba de la confluencia del río Caroní con el Orinoco (Venezuela).



Foto 1: foto aérea represa de El Guri.

Se comienza a construir en 1964. **El proyecto Guri surge como respuesta al crecimiento acelerado de la demanda energética del país.** Con el nombre de Primera Etapa se designó al proyecto de la central, que comenzó a construirse en noviembre de 1968 (entrando totalmente en servicio en 1978). Esta consta de una presa de gravedad, 2 presas, un aliviadero y una casa de máquinas con 10 unidades generadoras cuya capacidad instalada alcanza un total de 2.565 MW a la cota de 215 m; el área inundada del embalse es de 800 km² aproximadamente y el volumen del lago alcanza los 17.000.000 m³.

Debido al aumento del precio del petróleo en la década de 1970, la conciencia clara de las necesidades energéticas del país, así como los adelantos tecnológicos logrados,



surgieron modificaciones en el proyecto inicial de ejecución, fusionándose la Segunda y Tercera Etapas previstas en una Etapa Final, la cual consistió en:

- Realizar la presa de gravedad principal y el aliviadero existentes hasta la cota de 272 m.
- Construir 2 nuevas presas de gravedad en las márgenes derecha e izquierda del río.
- Construir una casa con otras 10 máquinas al pie de la nueva presa de gravedad, situada en la margen derecha del río.
- Construir 2 presas en los estribos de la presa de gravedad.
- Construir diques en las márgenes derecha e izquierda del embalse.

Estas modificaciones llevan la capacidad de generación del Guri hasta unos 10.000 MW aproximadamente **haciéndola la segunda central hidroeléctrica del mundo, después de la central de Itaipú (Entre Brasil y Paraguay).**

Se previó que el lago que se formaría al concluirse esta etapa tendría unos 4.750 km², con un total de 134.500.000.000 de m³ de agua. Después de concluirse esta etapa el lago formado es el segundo más grande de Venezuela (después del lago de Maracaibo), con una superficie de 3.919 km², más grande que el estado Carabobo. Las obras concluyeron en 1986; el 8 de noviembre de ese año se llevó a cabo la inauguración oficial.

<http://www.geocities.com/ievzla/guri.html>

A.2. Capacidad de generación

La capacidad de generación de energía eléctrica de Guri alcanza los 50000GWh al año, lo que equivale al ahorro de 300000 barriles diarios de petróleo. Esto permite cumplir con la política de sustituir combustible fósil por hidroelectricidad para reducir la contaminación y usar el petróleo para su exportación u otros fines.

En total 10000 MW a través de sus 20 unidades generadoras en sus 2 casas de máquinas. Representa más de la mitad de toda la capacidad de generación eléctrica del país, calculándose que dicha central podría cubrir las necesidades de electricidad de 17 ciudades como Caracas.

<http://www.geocities.com/guri1999/guri.html>



A.3. Problemática del sector en Venezuela

En Venezuela, poco más del 90% de la población dispone de un servicio eléctrico moderno. **La mayor parte de la electricidad generada en el país procede de centrales hidroeléctricas**; también se genera en centrales termoeléctricas donde se queman combustibles (gas natural y/o derivados del petróleo como fuel oil y gasoil) en calderas de vapor que mueven turbinas. Actualmente, de los 20.067 MW (megavatios) de capacidad de generación instalada que posee el país, **62% es de naturaleza hidroeléctrica** y 38% proviene de plantas termoeléctricas.

Venezuela tiene el más alto índice de consumo de energía eléctrica por persona en Latinoamérica, por ello existe la posibilidad de un racionamiento de electricidad entre los años 2002 y 2003, por la concurrencia de diversos factores, a saber: **disminución del aporte de agua al embalse de Guri** por la sequía más intensa experimentada en los últimos 50 años (*); **por las pocas inversiones realizadas en el sector térmico en los últimos 15 años**, debido a la dependencia del suministro de energía hidroeléctrica, lo que ha reducido la capacidad real de generación térmica, y por el incremento excesivo del consumo nacional de electricidad.

Al sector eléctrico le preocupa el hecho de que continúe disminuyendo el nivel del agua en el embalse de Guri, por la disminución de la pluviosidad pronosticada como efecto del fenómeno natural “El Niño”. Además, **se ha evidenciado un desgaste en algunas partes de las turbinas del Guri, lo que reduce su eficiencia, afecta la disponibilidad de energía y hace que el sistema de generación disminuya su capacidad para atender el crecimiento de la demanda**, que oscila entre 3 y 5 % interanual; con el agravante de que en los primeros meses del año 2002 fue de 6%.

Las plantas de generación térmica no pueden cubrir el déficit energético de esta central hidroeléctrica. Adicionalmente, en algunas regiones del país se han producido sobrecargas en las redes de transmisión que las hacen operar por encima de su límite; en consecuencia, la interconexión con el sistema eléctrico nacional es débil e insuficiente, lo que afecta la disponibilidad de energía. Igualmente, **las sobrecargas en los sistemas de distribución han ocasionado apagones y fallas frecuentes del servicio eléctrico en algunas regiones del país**. Por estos motivos y de acuerdo con los cálculos del sector eléctrico, si no se aplican correctivos podría presentarse un déficit de energía este año (2003) y los siguientes.

Una posible acción para disminuir la demanda eléctrica en el país es el racionamiento general, selectivo y rotativo de electricidad; es decir, **la distribución limitada de esta energía a algunos sectores, lo que podría ocasionar la paralización de grandes**



ciudades, la interrupción de las comunicaciones, la inmovilización de las industrias y la suspensión de otros servicios, lo cual ocasionaría pérdidas millonarias.

Ante la actual situación de déficit energético y para disminuir el riesgo de racionamiento severo en el futuro, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) ha propuesto una serie de acciones, a corto y mediano plazo, que compensen el déficit de suministro de la central hidroeléctrica del Guri.

()*: más allá de la presencia de El niño, ahora sabemos cuales fueron las causas del descenso en el rendimiento del Guri (ver artículos siguientes). Recuérdese que parte de la información –siempre sesgada- ha sido extraída de diarios venezolanos, sometidos a fuertes presiones políticas (ni que decir tiene que es más “conveniente” achacar la falla a condiciones meteorológicas que a la ineptitud de los gestores).

<http://www.cenamec.org.ve/Olimpiadas/Petrol/pruebas/prueba03/prueba06.htm>

A.4. Antecedentes de la crisis de El Guri

Esta importante represa representa el nervio central en la aportación de energía eléctrica en Venezuela, **generando el 75% de la total consumida.**

Con una capacidad de generación eléctrica de alrededor de 19.000 MW, el país inauguró el año pasado un ambicioso plan de interconexión eléctrica para exportar energía a Brasil.

Es aquí donde comienzan los despropósitos: en el mismo año, Venezuela se vio obligada a importar electricidad de Colombia para hacer frente a la reducción del volumen de las aguas del meridional embalse hidroeléctrico de Guri, sobre el río Caroní.

A lo anterior hay que agregar que durante los últimos años **el parque termoeléctrico no ha recibido el adecuado mantenimiento para un óptimo funcionamiento, situación que ha provocado el consecuente deterioro de las instalaciones**, "lo que sucede principalmente porque no se han realizado las inversiones tecnológicas necesarias por falta de dinero".

Los datos son reveladores. El bajón en el rendimiento de una única central hidroeléctrica (de la cual, cierto es, se tiene una dependencia casi absoluta) sumado a otros factores desestabilizadores no menos importantes, se ha traducido en lo siguiente:

- La economía venezolana sufrió al cierre del primer trimestre de este año (2003) una **contracción de 29,9% del producto interno bruto, la recesión más severa de la historia**, de acuerdo a cifras del Banco Central de Venezuela.



- Como un signo más de que la economía venezolana se encuentra en franco retroceso, la demanda de electricidad entre enero y mayo del 2003 se redujo 1,8% en comparación a los primeros cinco meses del año pasado (la Cámara Venezolana de la Industria Eléctrica informó que el consumo eléctrico cayó a 35.928 GWh en los primeros cinco meses del año, 677 GWh menos que en ese período del año 2002).

A.5. Consecuencias de una reducción en el rendimiento

Los últimos meses **los usuarios del servicio eléctrico se habrán percatado de que la intensidad de la energía puede variar**, y lo primero que viene a la cabeza es que ya comenzó el racionamiento de electricidad para enfrentar el menor envío de hidroelectricidad desde la central del Guri, cuyo caudal de agua ha sido afectado por la sequía de 2002, además de que se prevé la misma situación climática en 2003, con el fenómeno El Niño.

El Ministerio de Energía y **Minas instruyó a las empresas para que disminuyan la frecuencia y la tensión o potencia eléctrica**, como parte de las medidas que adelantan desde marzo de 2001, cuando se detectó el descenso en los niveles de agua del embalse de la central hidroeléctrica de Guri, ubicada en la cuenca del río Caroní, en el estado Bolívar: fue el 15 de noviembre pasado cuando el ministerio emitió la resolución número 211 en la que se argumenta la necesidad del racionamiento.

En su artículo 2, la resolución refiere que las empresas eléctricas que presten el servicio de distribución y entrega de la energía a los clientes, **deberán disminuir los niveles de tensión en los circuitos de distribución de 100% a 95% de su valor nominal** y mantener permanentemente la reducción. Esto significa recortar la potencia, que es la demanda instantánea de energía cuando se enciende una bombilla o aparato.

El ministerio también ordenó bajar la frecuencia eléctrica de 60 a 59,9 hertz; cada hertz equivale a un ciclo por segundo. (La frecuencia es la cantidad de veces que en una unidad de tiempo (segundos) la onda de la corriente alcanza sus picos y valles.)

Fuente: El Nacional, 25.03.02. *Bajan tensión y frecuencia eléctrica para reducir el riesgo del racionamiento.*

<http://www.caveinel.org.ve/general.asp?titulo=Noticias&ID=121>



A.6. Calidad del servicio

El cambio de frecuencia y la disminución de la potencia o tensión eléctrica afectan la calidad del servicio, pero no daña los aparatos ni los equipos.

Por ejemplo, el descenso en los niveles de tensión afecta a los equipos que tienen resistencias y generan calor. Las bombillas incandescentes disminuyen la intensidad del alumbrado, las planchas calientan menos y las cocinas y hornos eléctricos tardan más en calentar o cocinar los alimentos.

Por otra parte, los cambios en la frecuencia pueden afectar a los aparatos con bobinas, condensadores y motores eléctricos como la nevera, la licuadora, la secadora, la lavadora y el aire acondicionado, entre otros. La variación de la frecuencia altera, asimismo, los equipos electrónicos como los relojes digitales (el cambio de 60 a 59,9 hertz los está atrasando un minuto diario), los equipos de sonido, radios, televisores, equipos de VHS y DVD y computadores.

Para el ciudadano común no es tan grave como para las industrias que utilizan sistemas fabriles de gran precisión y para las clínicas y hospitales, en las que el tiempo es muy importante para la administración de medicamentos a los enfermos.



A.7. Recortes de prensa

El Mundo Martes 13 de Marzo de 2002

ESTE PAIS

"Cáncer de Guri amenaza con dejarnos a oscuras"

ASAMBLEA ■ Ex directivos de Edelca advirtieron en el Poder Legislativo que deben aplicarse correctivos urgentes en el complejo generador del Caroní

Carlos Colina, presidente de la subcomisión, reveló que en los próximos días los parlamentarios se trasladarán a la sala II del cuarto de máquinas del complejo del Bajo Caroní, **para constatar in situ la presunta cavitación (debilitamiento del acero), lo cual aparentemente se produce por falta de mantenimiento.**

Según el informe presentado por el ingeniero Víctor Poleo, desde 1993 las 10 turbinas Hitachi de la megaplanta eléctrica sufren una suerte de "cáncer" que erosiona el acero especial del rotor. "Infinitesimales burbujas de agua estallan a altísima velocidad y presión contra las superficies metálicas".

Esto ha generado progresivamente "pérdida de masa, vibraciones mecánicas y daños asociados, salidas forzosas de máquinas (10 -20% del tiempo útil) y pérdidas económicas por volúmenes no generados".

La cita de ayer se produjo a raíz de **presuntas irregularidades que se cometieron en el proceso de licitación para el reemplazo de 10 turbinas Francis de la hidroeléctrica Guri II.**

"Se tomó una decisión con información incompleta, tratándose de algo como Guri, que genera 70% de la energía nacional."



ASAMBLEA

El Guri a punto de colapsar

La subcomisión de Entes Descentralizados de la Comisión de Contraloría de la Asamblea Nacional, investigará la **presunta cavitación (debilitamiento del acero) que amenaza a la sala II del cuarto de máquinas del complejo del Bajo Caroní, falla que amenaza la confiabilidad del sistema eléctrico nacional.**

La subcomisión recibió este lunes a los ex directivos de Edelca, quienes **advirtieron a los legisladores que las 10 turbinas Hitachi de la megaplanta eléctrica sufren una suerte de "cáncer" que erosiona el acero especial del rotor.**

<http://www.elmundo.com.ve/ediciones/2001/03/13/p1-1s3.htm>

Últimas Noticias Miércoles 09 de Abril de 2003

ENERGÍA NUNCA HA OPERADO EN COTAS POR DEBAJO DE LOS 248 METROS

Incertidumbre por bajo nivel de agua en represa de Guri

Hasta ahora no se tiene previsto el racionamiento de electricidad

La cota del embalse de Guri estaba el lunes en 249,17 metros (está bajando entre 15 y 17 centímetros diarios). El 28 de abril del 2002 se colocaba en 249,54 metros. A pesar de que se trata de un nivel nunca alcanzado, la central está diseñada para operar en los 248. Llegar a esta línea aún no significa racionamiento de electricidad, puesto que todavía tiene potencia para cubrir hasta 244 metros.

¿Colapso? El viceministro de Energía, Nervis Villalobos, ha dicho que aún no se tiene previsto un plan de racionamiento.

Además, el suministro de energía eléctrica está garantizado hasta mayo, añade, cuando se estima que la cota del Guri, si no llueve, baje a los 240 metros.

Esta es la cota de colapso, es decir, el nivel mínimo de operación.



Si baja hasta aquí se debe iniciar el **racionamiento obligado de hasta 40% de la demanda.**

Se deberán detener ocho de las 10 unidades generadoras de Guri. La cota máxima de operación es 271,60 metros.

Los impactos socioeconómicos de un racionamiento igual al 40% referido, son: disminución en producción, consumo, inversiones y empleo; incremento de la inseguridad y merma en la calidad de vida, afectación de los servicios públicos: agua, Metro, banca, alumbrado, aeropuertos, salud, educación y comunicaciones.

<http://www.ultimasnoticias.com.ve/ediciones/2003/04/09/p11n1.htm>

11-07-2003. Diario el Nacional. Empresas piden al Ejecutivo iniciar campaña para ahorrar electricidad.

Representantes del sector consideran que hay que informar a la población sobre las implicaciones del menor envío de energía desde Guri. En mayo llegaron al país las primeras plantas portátiles de generación termoeléctrica.

El Ejecutivo debe iniciar cuanto antes una campaña educativa que promueva entre la población el ahorro de electricidad, como parte del plan de acción para **enfrentar el inminente déficit de energía que se registrara debido a la menor generación en la central hidroeléctrica de Guri.**

Los representantes de Electrificación del Caroni y de la Oficina de Sistemas Eléctricos Interconectados, Angel Negrín y Miguel Lara ratificaron la caída del nivel del Guri a razón de 12 y 13 centímetros diarios desde el mes pasado.

Al respecto, el presidente de CAVEINEL, Gustavo González Urdaneta destacó que de seguir la generación en la central hidroeléctrica en 125 GWh al día, el agua del embalse llegará a su marea más baja -140 metros sobre el nivel del mar- en mayo o Junio próximos.

<http://www.caveinel.org.ve/general.asp?titulo=Noticias&ID=201>



Se necesita más generación térmica.

El Universal (Venezuela) - 06/09/03

Desde el año 2001 el embalse reporta mediciones no vistas anteriormente y hoy, el acumulado de estos casi tres años agudiza sus preocupantes niveles. En mayo pisó los **244 metros** sobre el nivel del mar y bajo ese escenario, Edelca estableció una regla operativa para administrar la represa, estableciendo zonas de Emergencia (racionamientos impuestos), de Alarma (programa de ahorro energético obligatorio), y de Alerta (racionalización energética).

En otras palabras, la curva de emergencia delimita una región en la cual debe profundizarse la generación termoeléctrica en función del nivel del embalse. **Y ese momento ha llegado. “Debemos seguir maximizando la generación termoeléctrica para poder recuperar el embalse a niveles seguros y óptimos”.**

El desbalance de Guri “no es casual, los metros por debajo del límite permitido los hemos consumido en estos años, por encima de su diseño”.

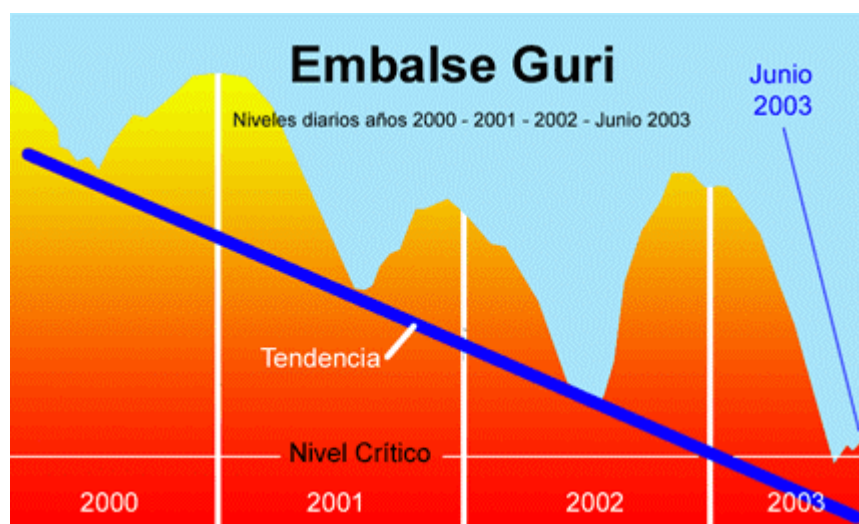


Figura 1: aproximación de la represa del Guri al nivel crítico.



La unidad generadora número 19 de la Casa de Máquinas II de Guri es la primera en ser rehabilitada y ya se encuentra nuevamente en operación comercial, luego de haberse modernizado su equipamiento en tres áreas específicas: turbina, generador y tomas de agua. Explicó Artilles que este plan “prevé el aumento de la disponibilidad de las unidades generadoras por encima de 90%, lo cual permite garantizar que esta central hidroeléctrica esté en condiciones de aportar electricidad con altos niveles de confiabilidad y efectividad para responder a la demanda del sector”.

Esta unidad, al igual que las otras, **”tenía problemas de cavitación y ello significaba pérdida de energía. La vibración y el ruido disminuyeron sustancialmente con las máquinas actuales”**.

http://www.soberania.info/Articulos/articulo_357.htm

A.8. Costes

Hablar de las consecuencias económicas (esto es: hacer números) en un caso como este es complicado, principalmente porque hay cosas difícilmente calculables:

Impacto operacional:

- Reducción significativa de la generación eléctrica nacional.
- Degradación de parámetros eléctricos y capacidad de control.
- Entrenamiento especial y acelerado del personal de operación.

Impacto socioeconómico:

- Disminución de la producción y el consumo nacional.
- Disminución de las inversiones.
- Efecto directo sobre el empleo por bajones en el rendimiento industrial (fruto de los apagones).
- Incremento de la inseguridad en la población.
- Disminución de la calidad de vida (disminución en la vida útil de los electrodomésticos motivada por los continuos bajones de tensión).



- Efectos sobre servicios públicos, interrupción de las comunicaciones (agua, metro, banca, alumbrado, salud, educación, aeropuertos, etc.)

Impacto político:

- Deterioro de la imagen del país.
- Dificultad de la gestión pública.

Impacto económico:

Si lo que queremos, con todo, es tener una aproximación monetaria, deberemos de contar con las siguientes partidas:

- Un número sin determinar (entre 5 y 12) de operarios con capacitación media-alta trabajando durante 90-120 días.

- Reparación o recambio pieza(s) afectada(s) (que puede llegar a incluir la sustitución completa del rodete).

- Pero lo que más hará crecer la factura, será sin duda el número de KWh que dejamos de proporcionar al usuario. Tendremos en cuenta las siguientes hipótesis:

- un precio para el KWh en esta región del planeta de 0,04 €

- se han visto afectados dos grupos de 400MW que han tenido que pasar a trabajar a un 70% de su capacidad durante 4 meses.

- sólo descontaremos las horas que se pasa sin turbinar, suponiendo una frecuencia de 6 horas al día.

Así pues, **un total de 216 horas sin proporcionar 800MW a 0,04 € el KWh eleva la partida a un total de 6,9 millones de euros.**

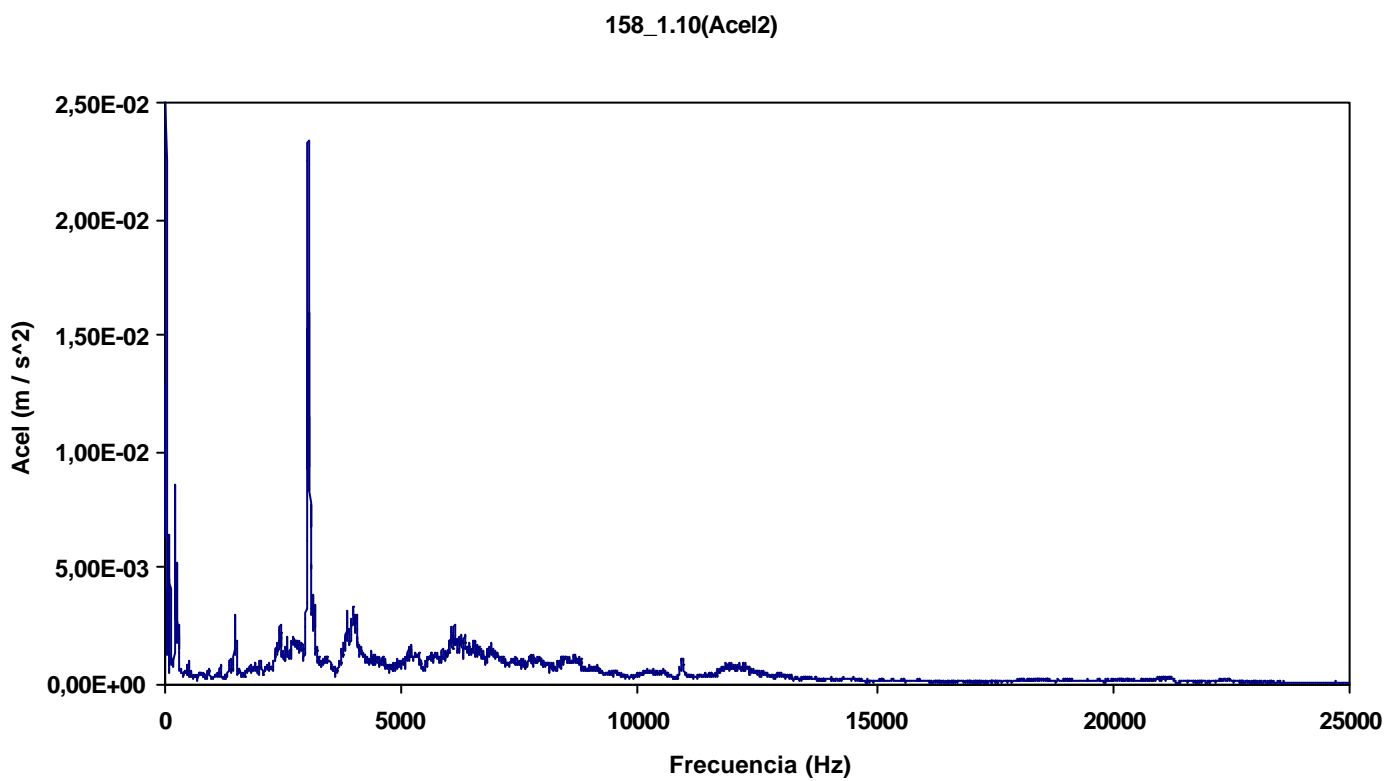
Compárese esta cifra con los menos de 20.000 € presupuestados para la detección de cavitación en turbina Francis.



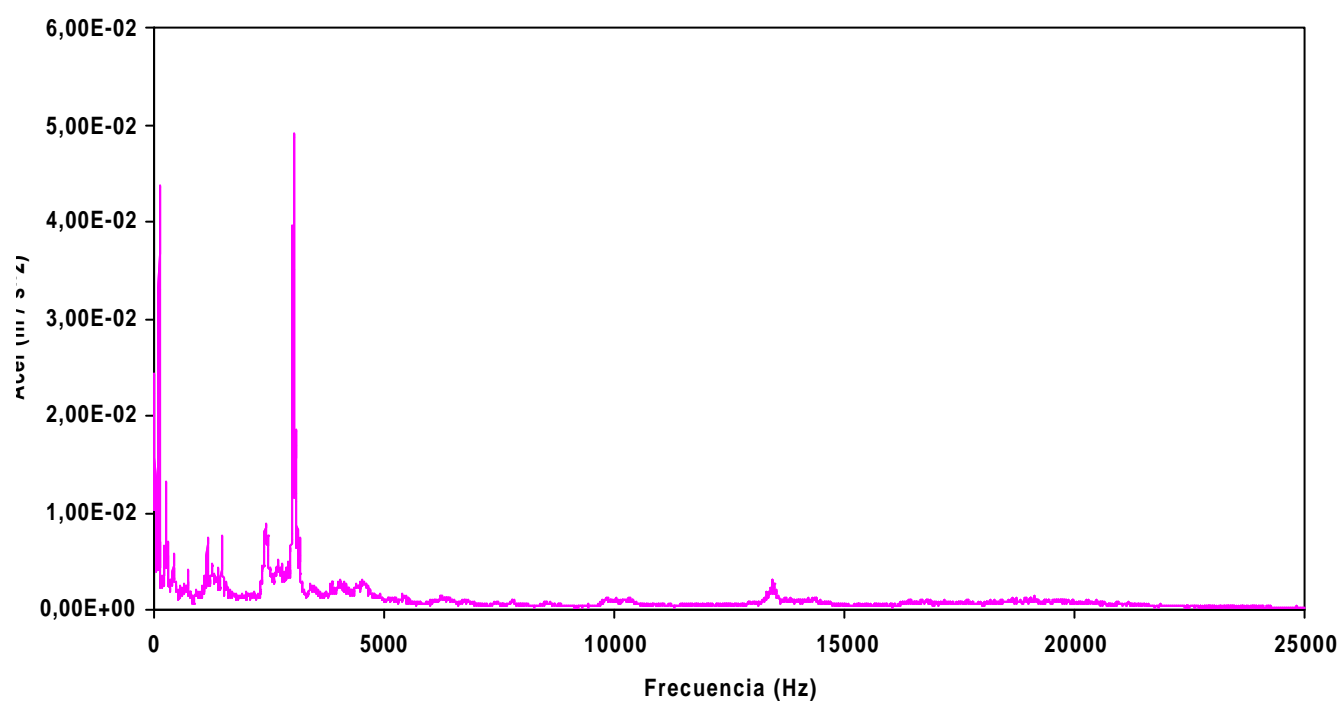
B. Representaciones gráficas

B.1. Gráficas para las altas frecuencias

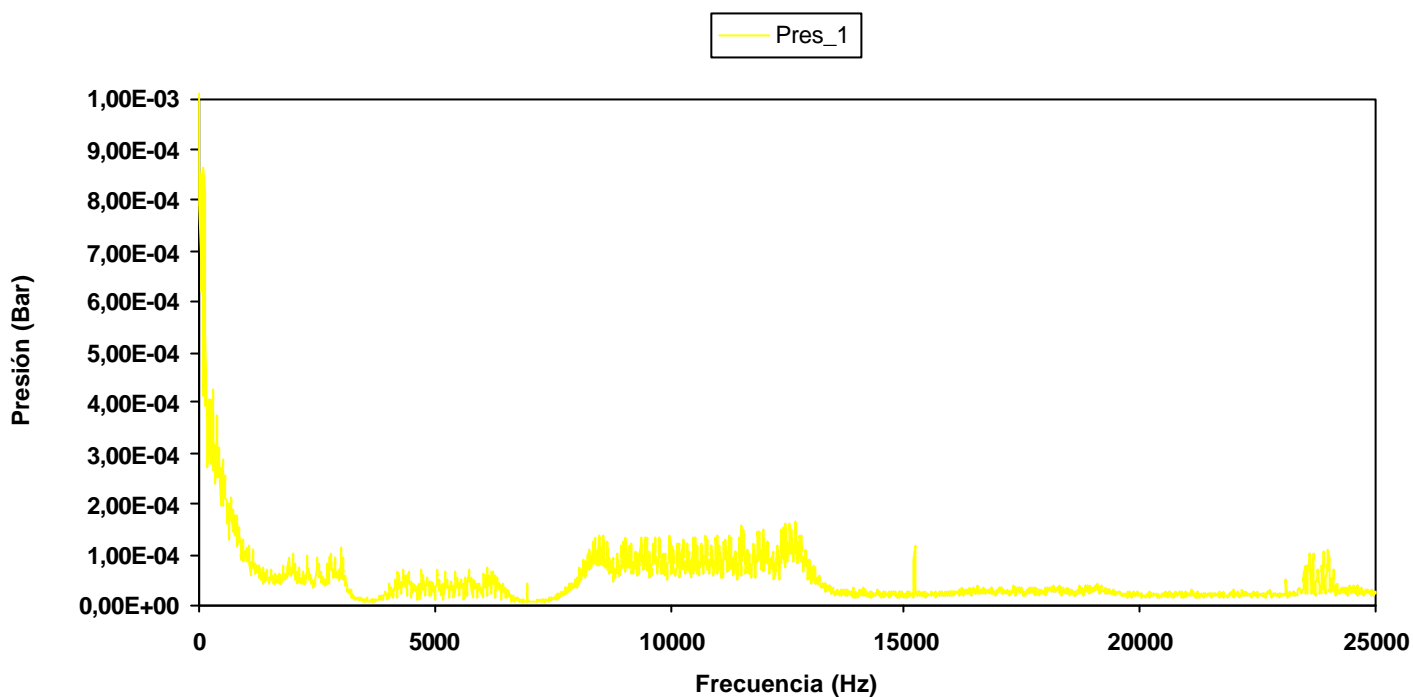
B.1.1. Punto de funcionamiento 158 (sin cavitación)



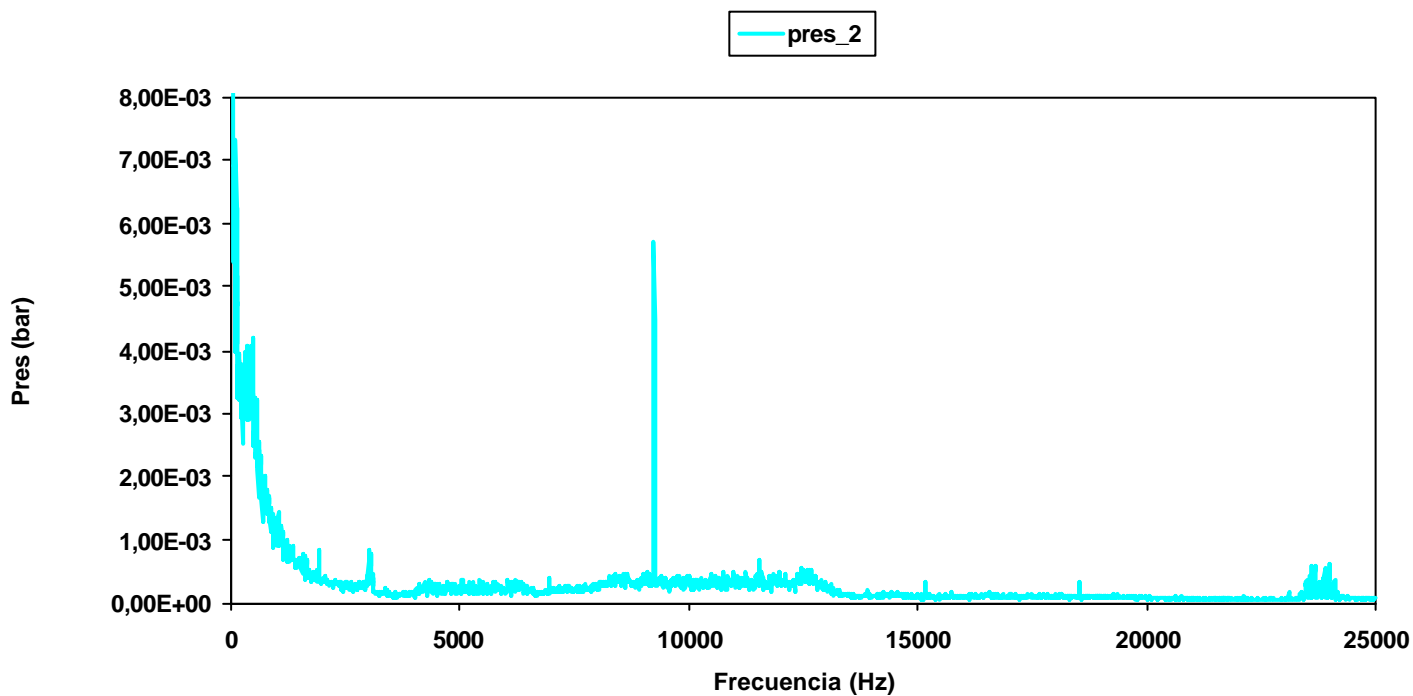
158_1.10(Acel2)



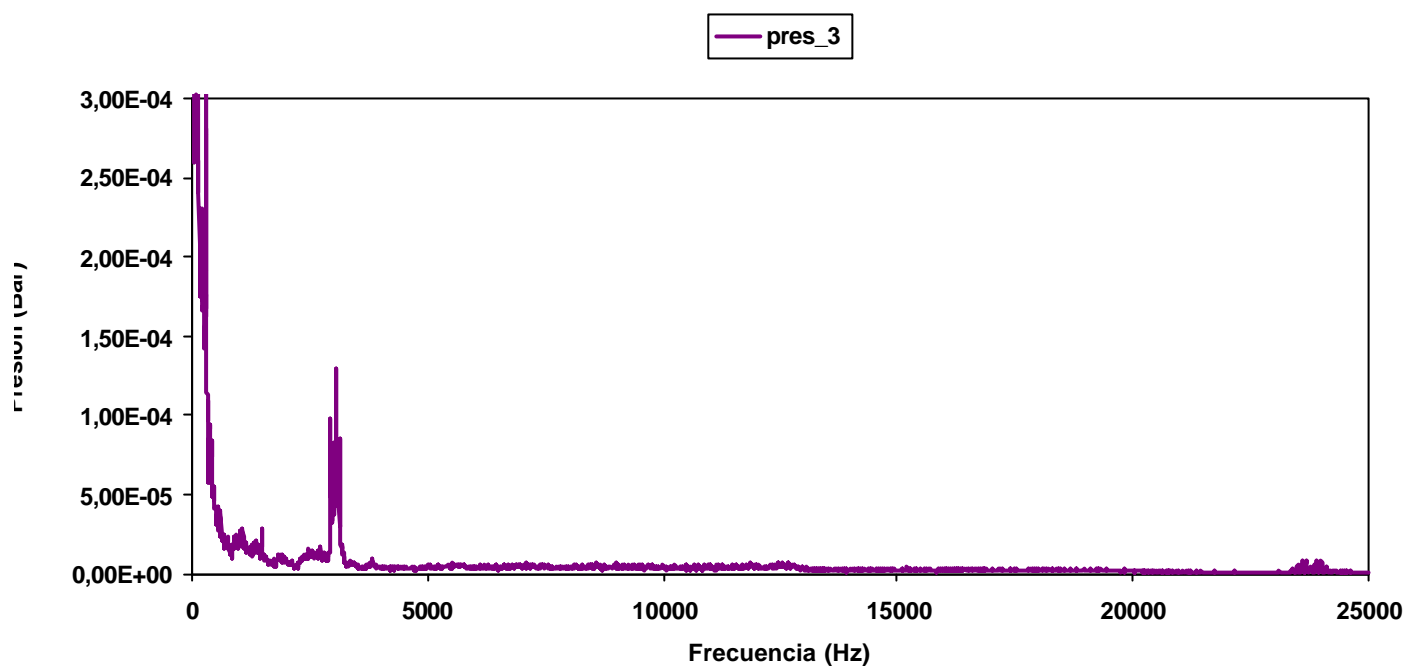
158_1.10(Pres_1)



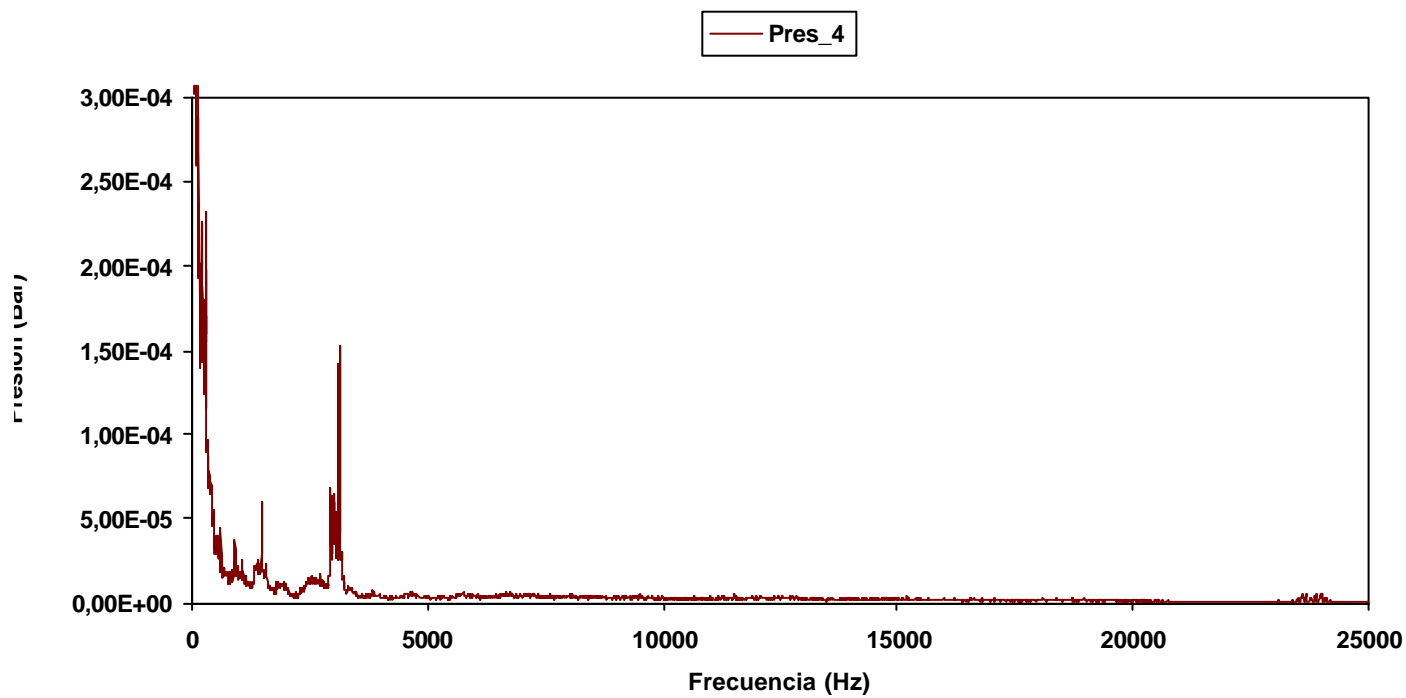
158_1.10(pres_2)

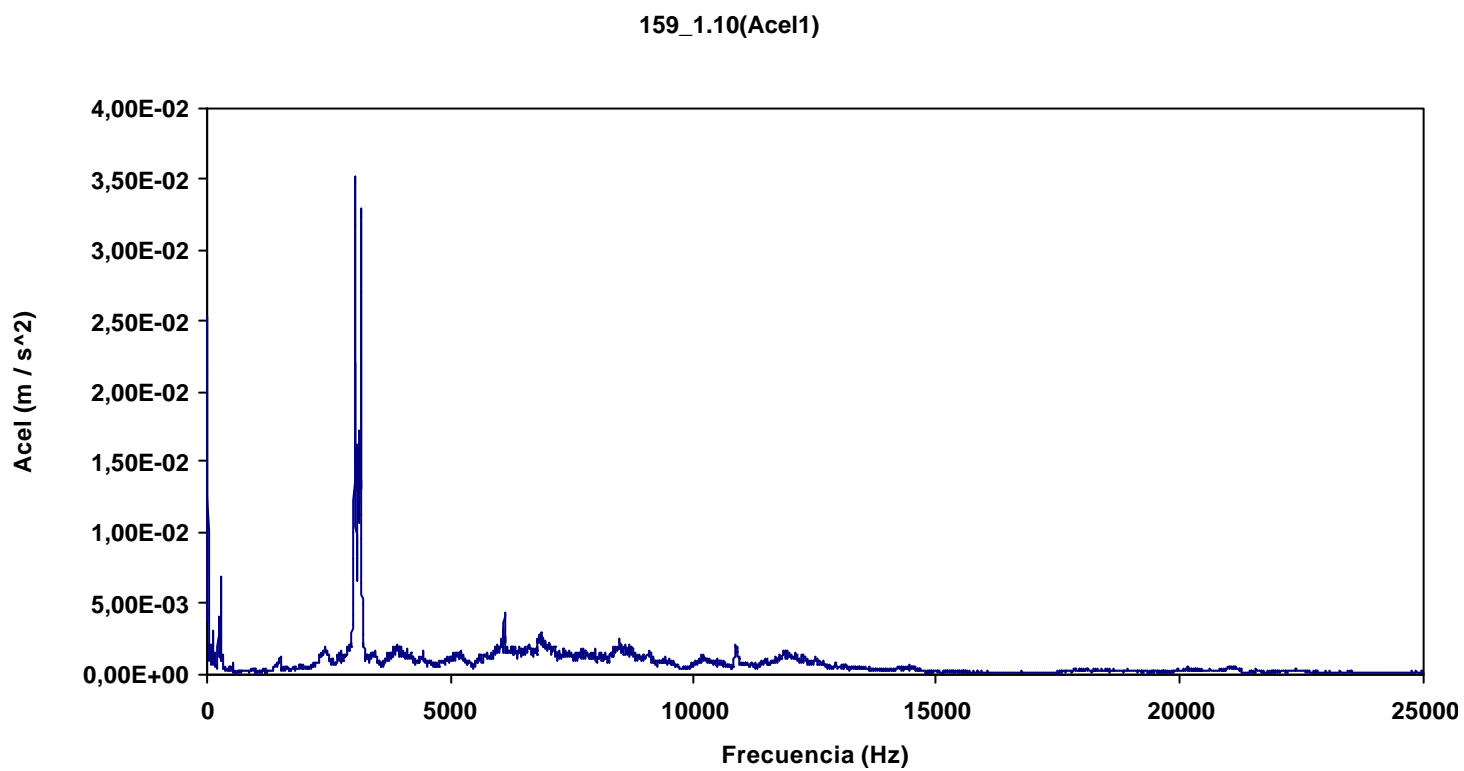


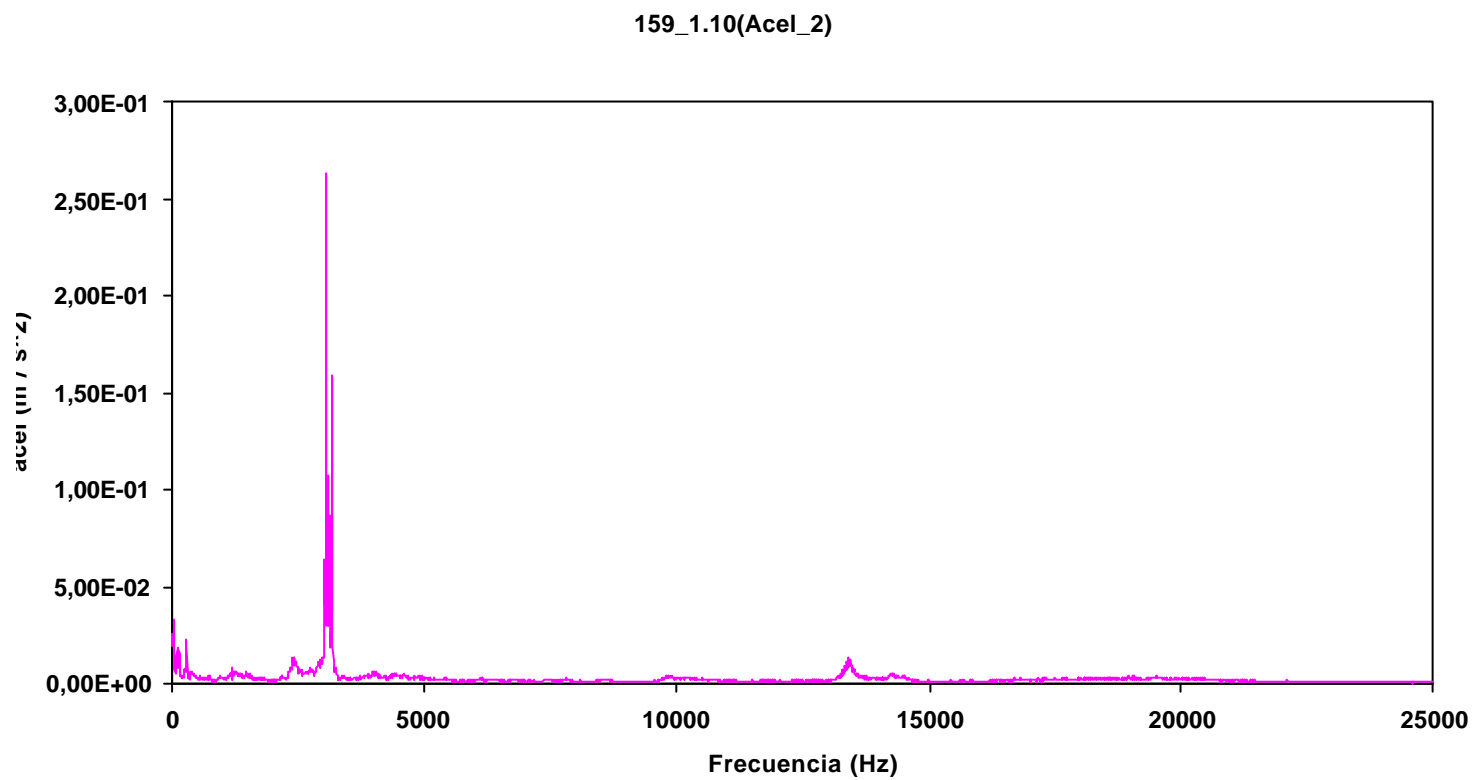
158_1.10(pres_3)

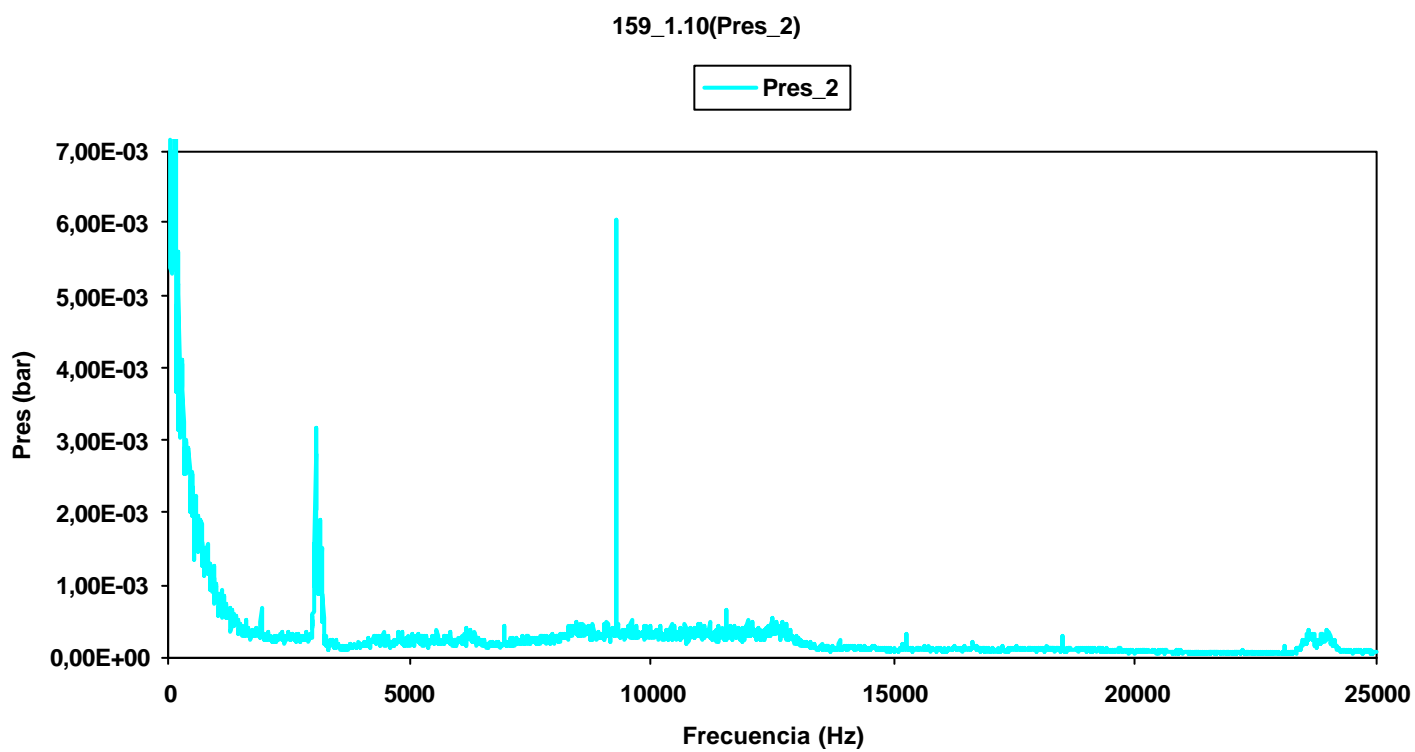
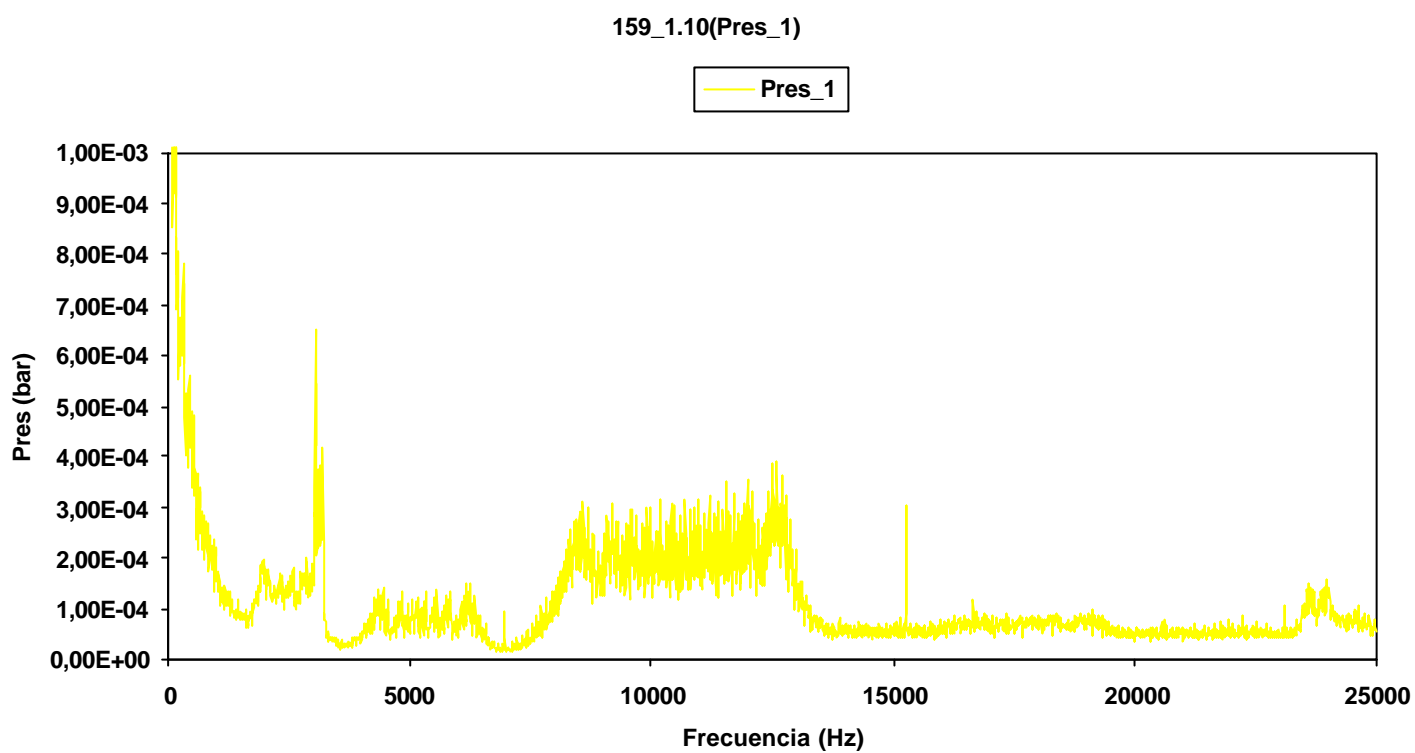


158_1.10(Pres_4)

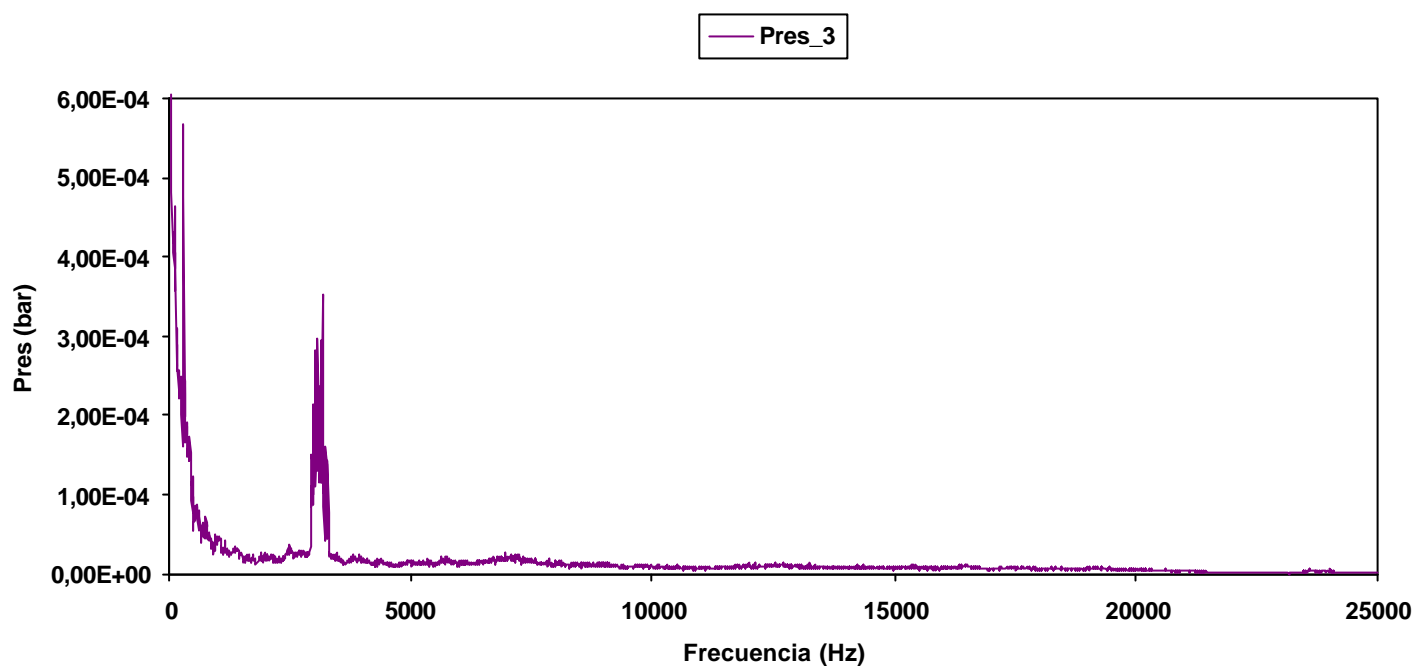


B.1.2. Punto de funcionamiento 159 (salida álabe)

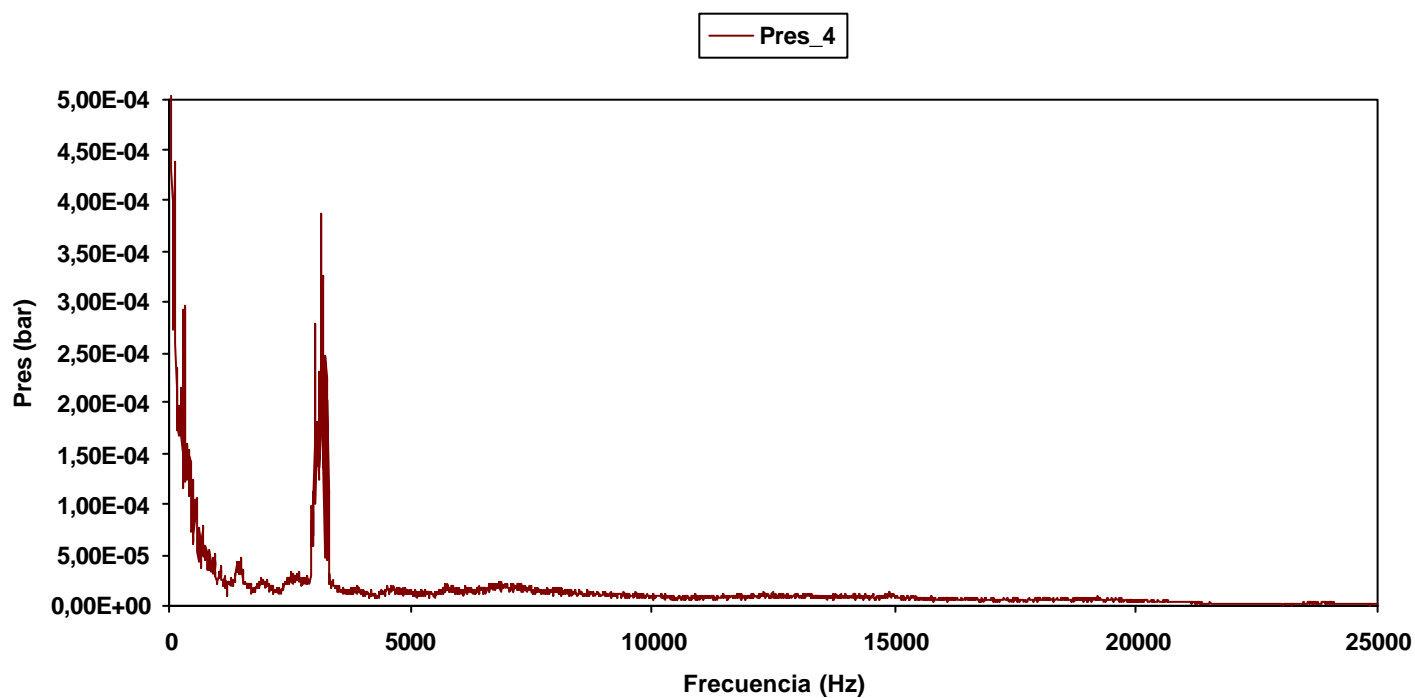


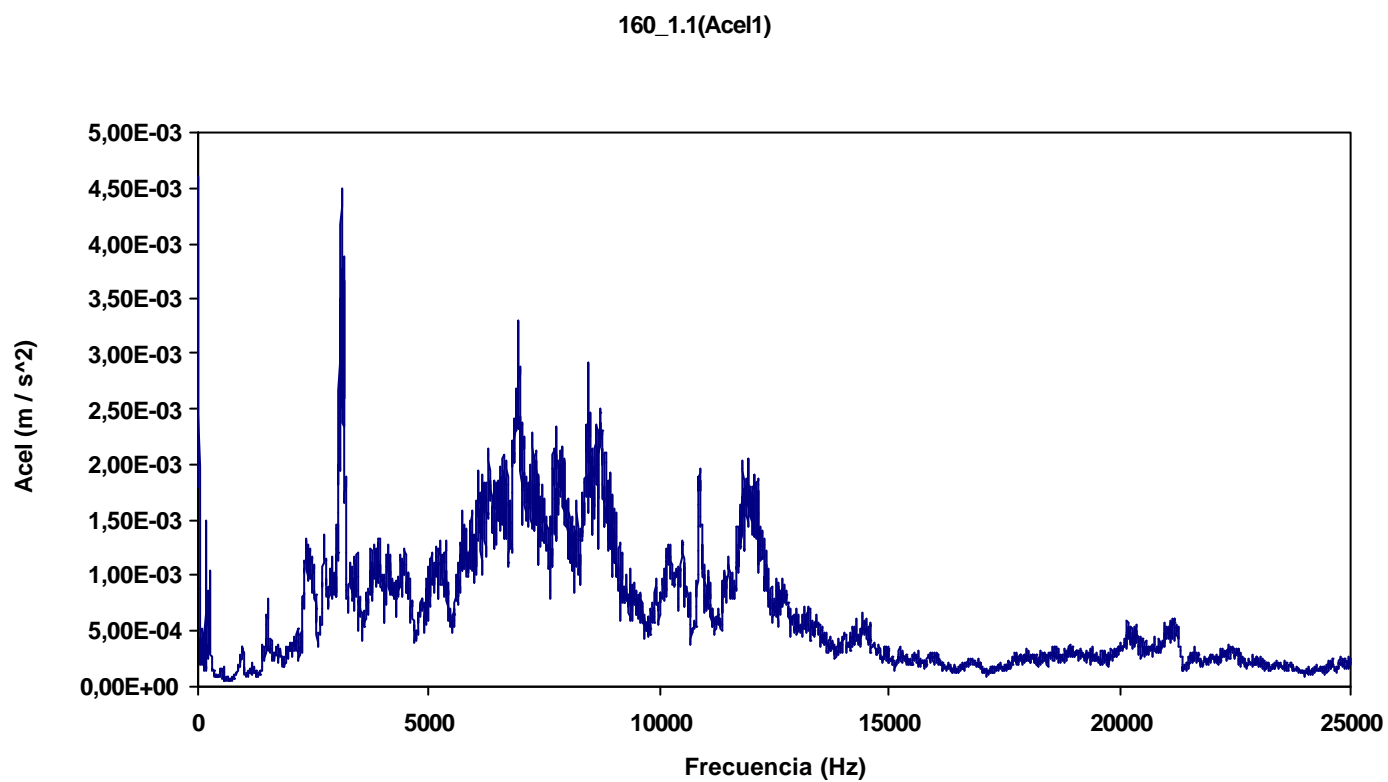


159_1.10(Pres_3)

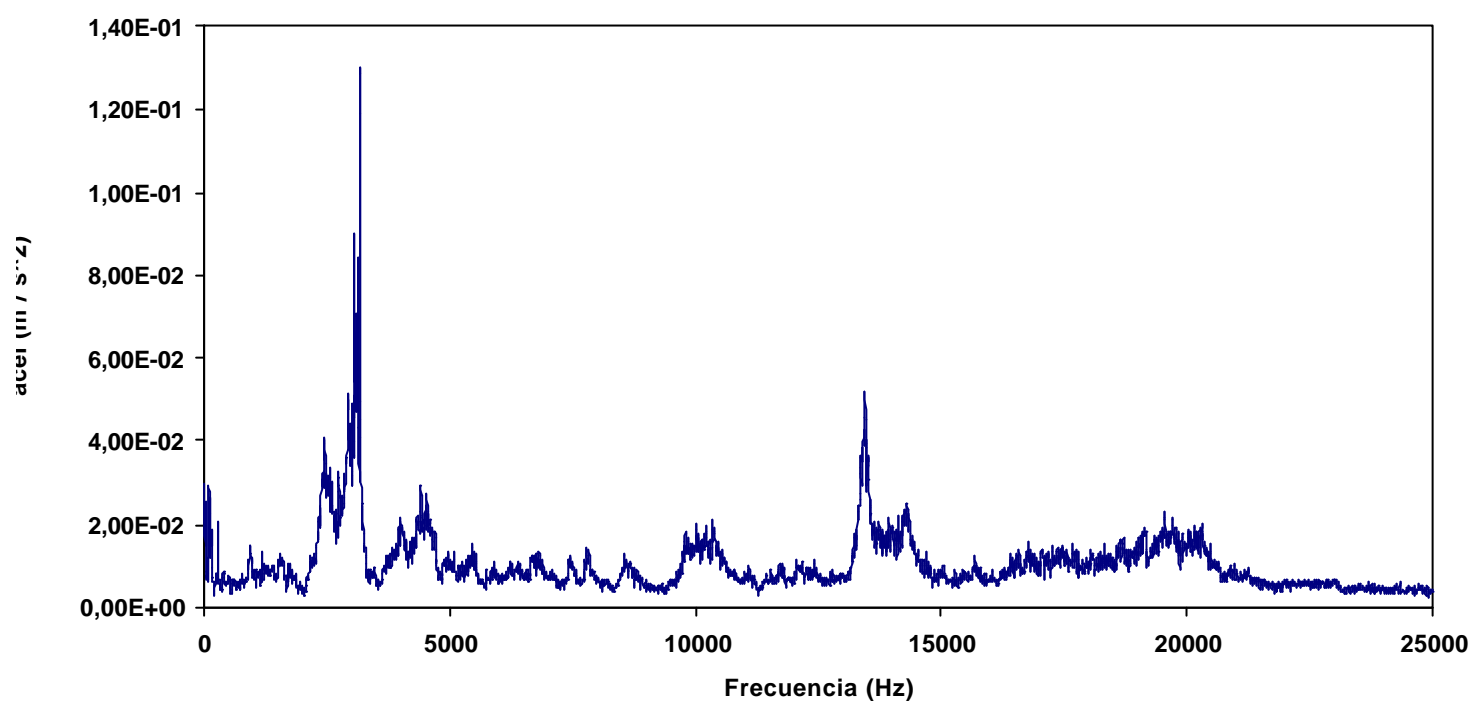


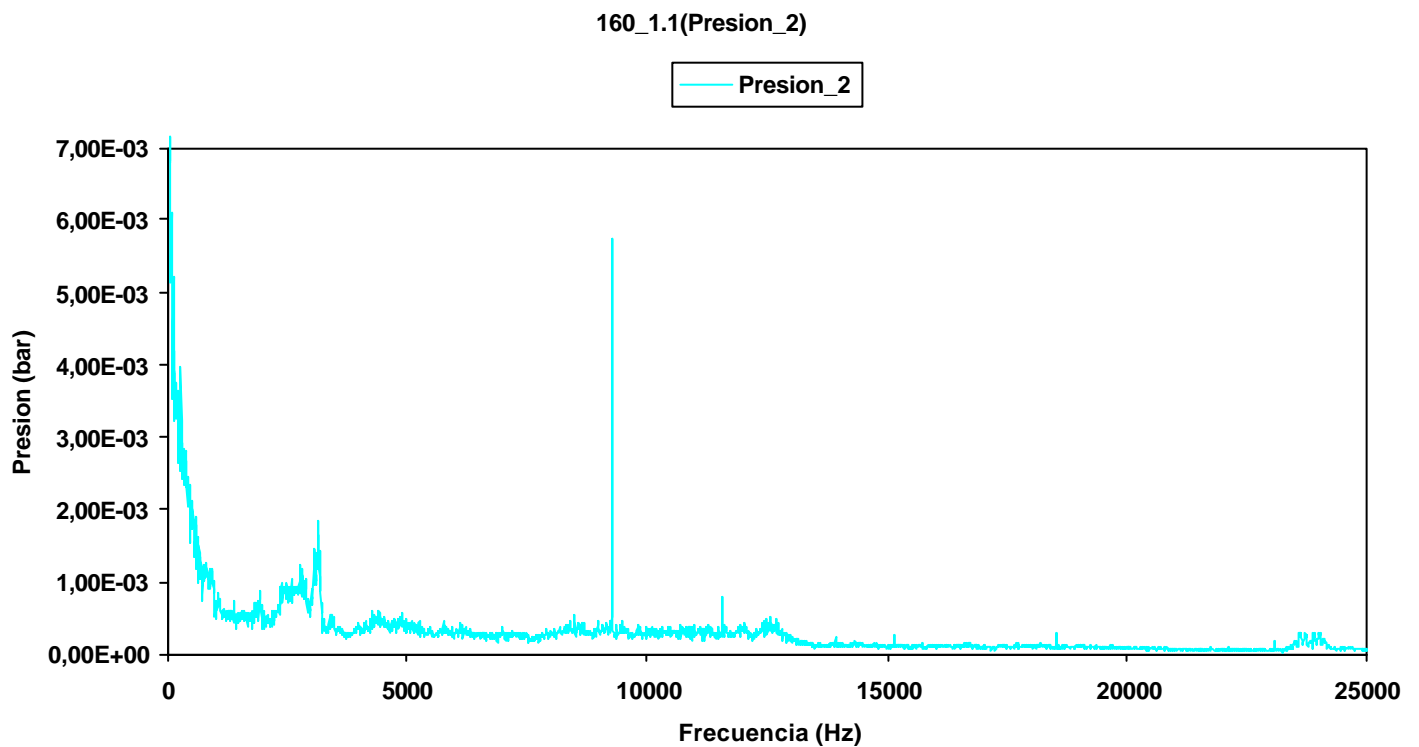
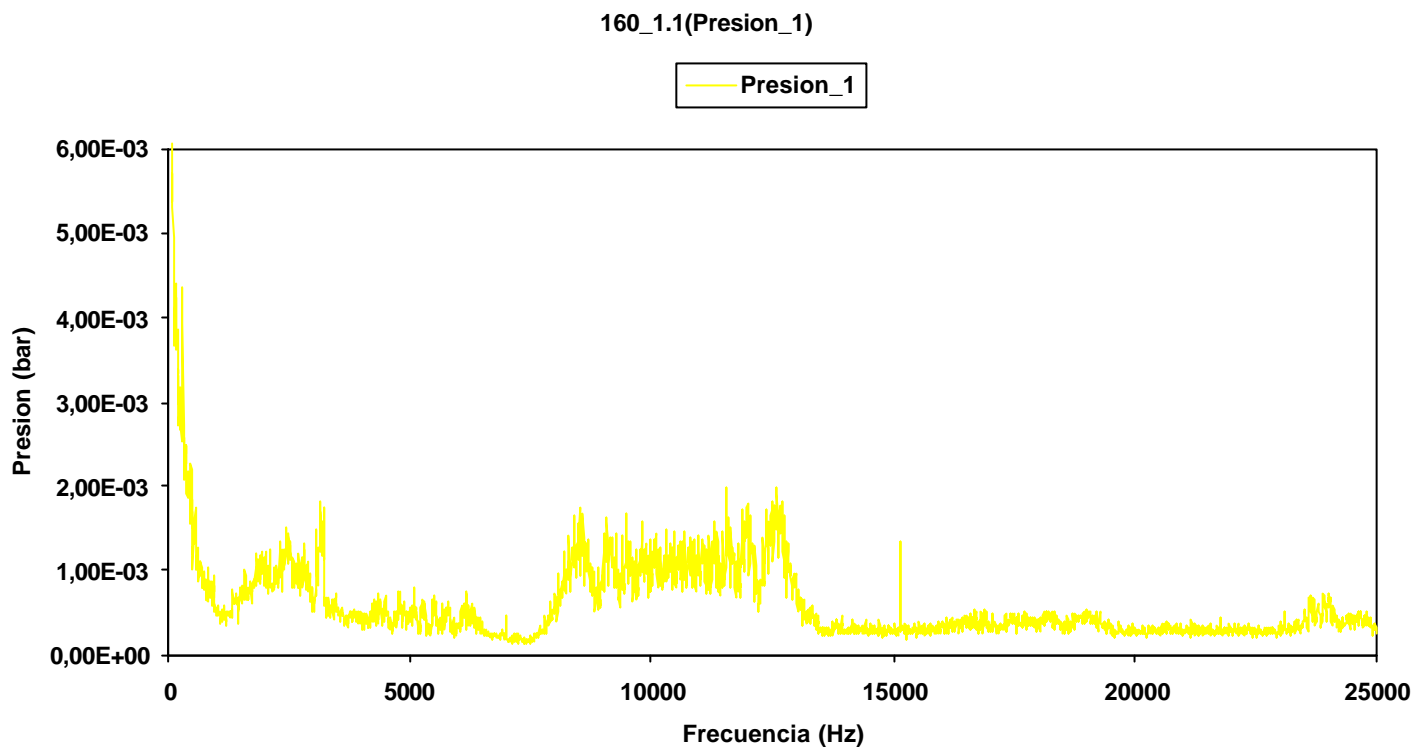
159_1.10(Pres_4)



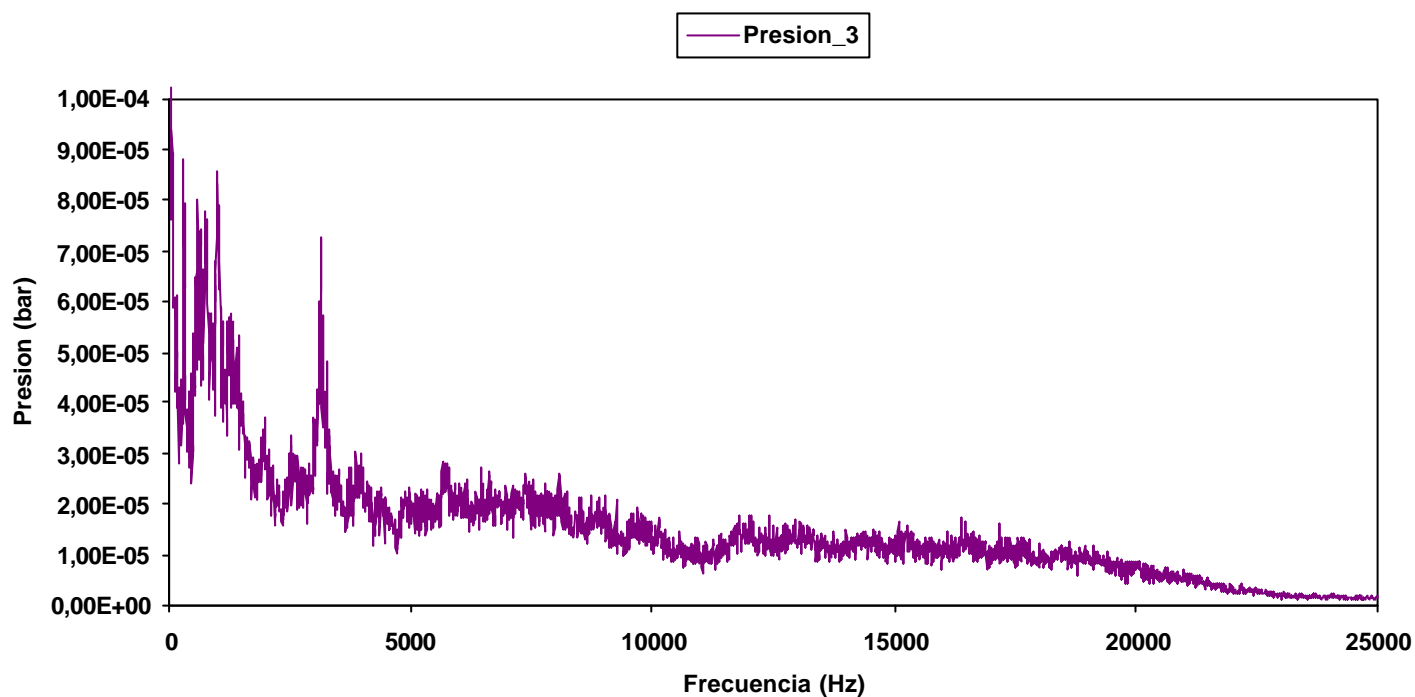
B.1.3. Punto de funcionamiento 160 (salida + Von Karman)

160_1.1(Acel 2)

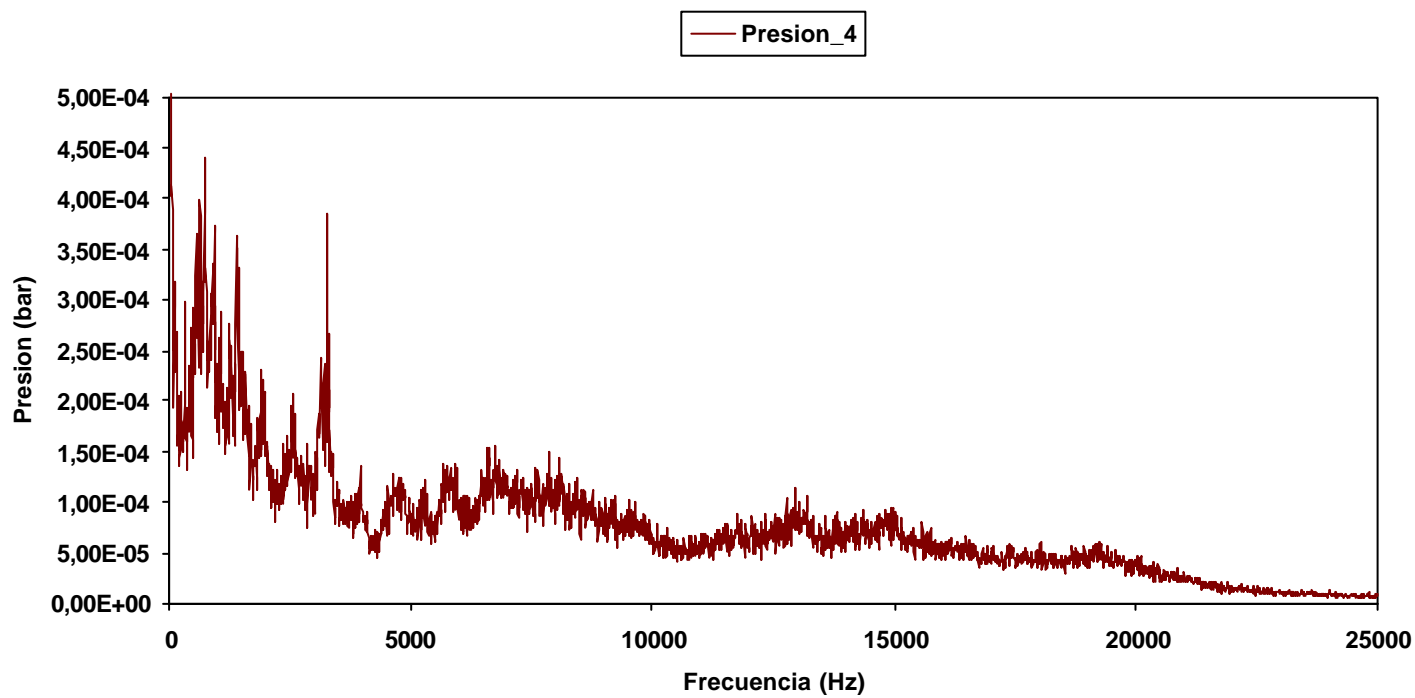


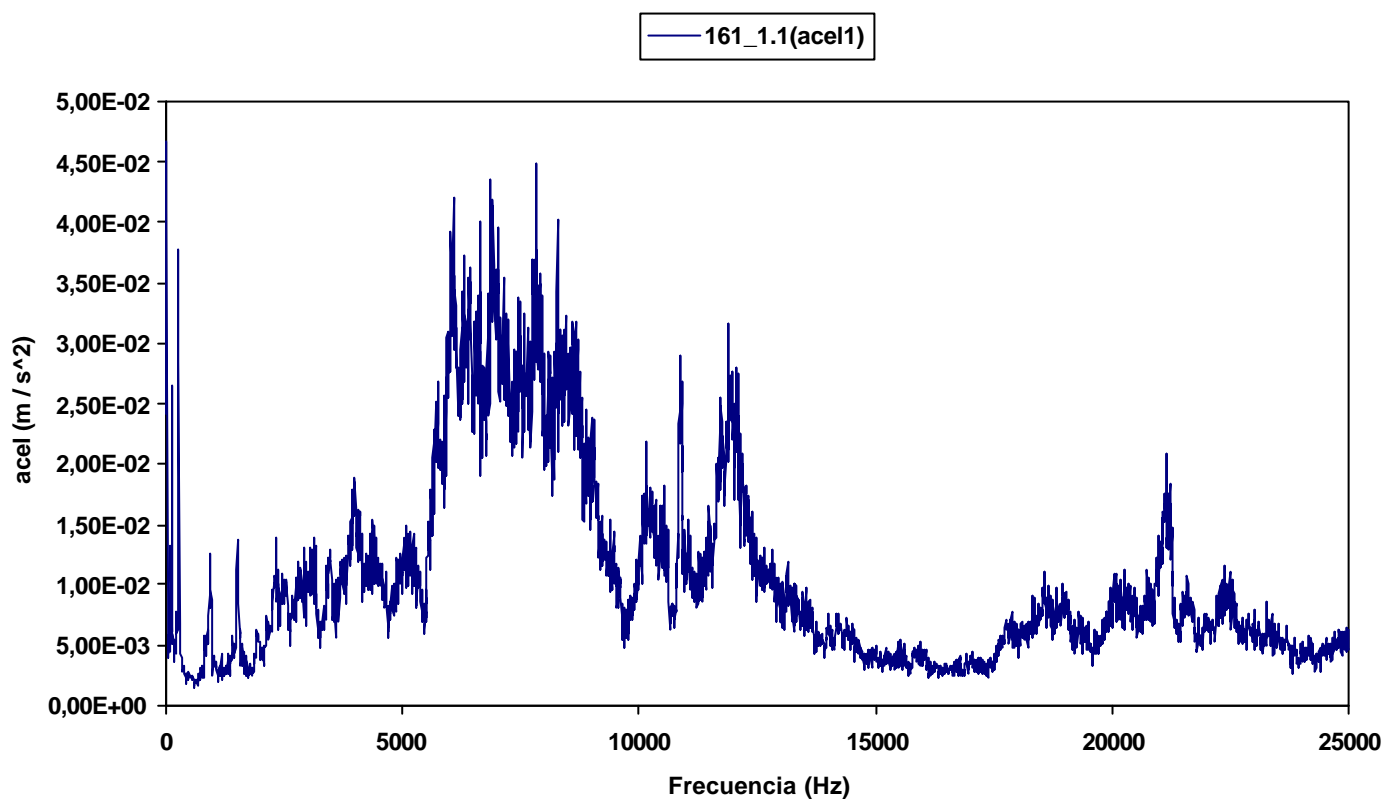


160_1.1(Presion_3)

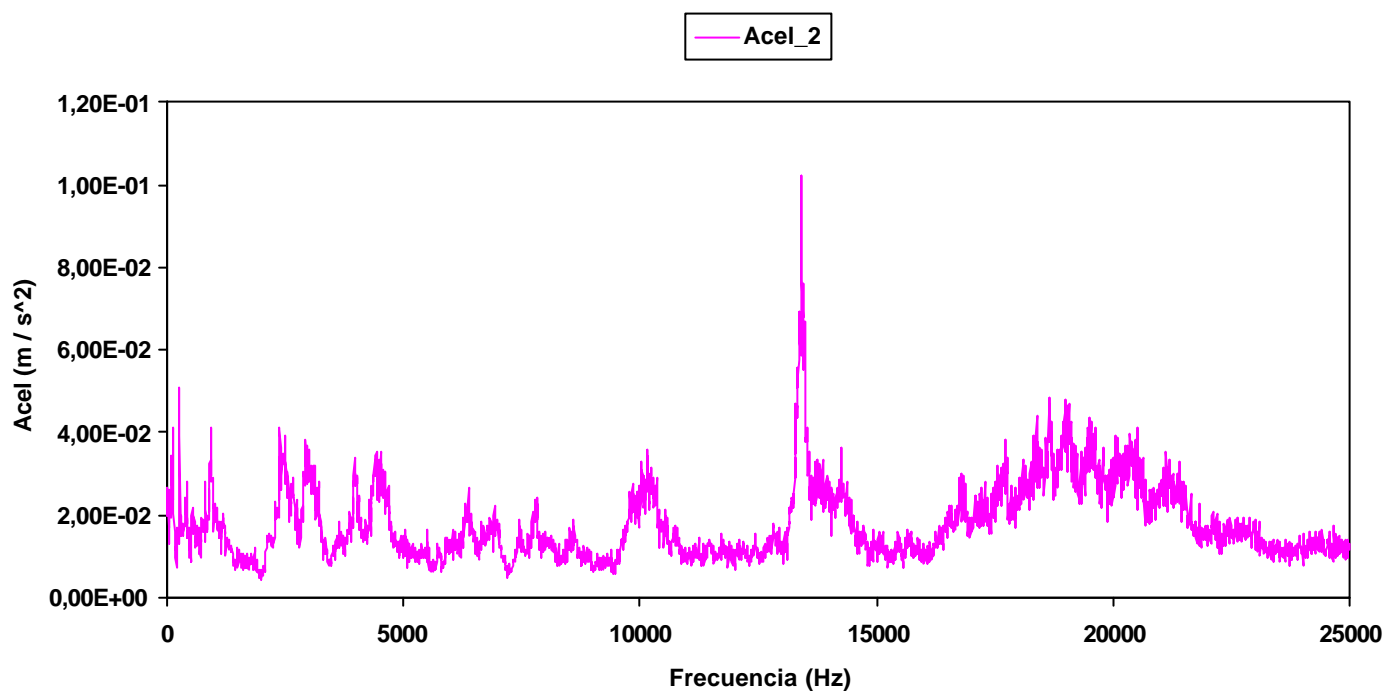


160_1.1(Presion_4)

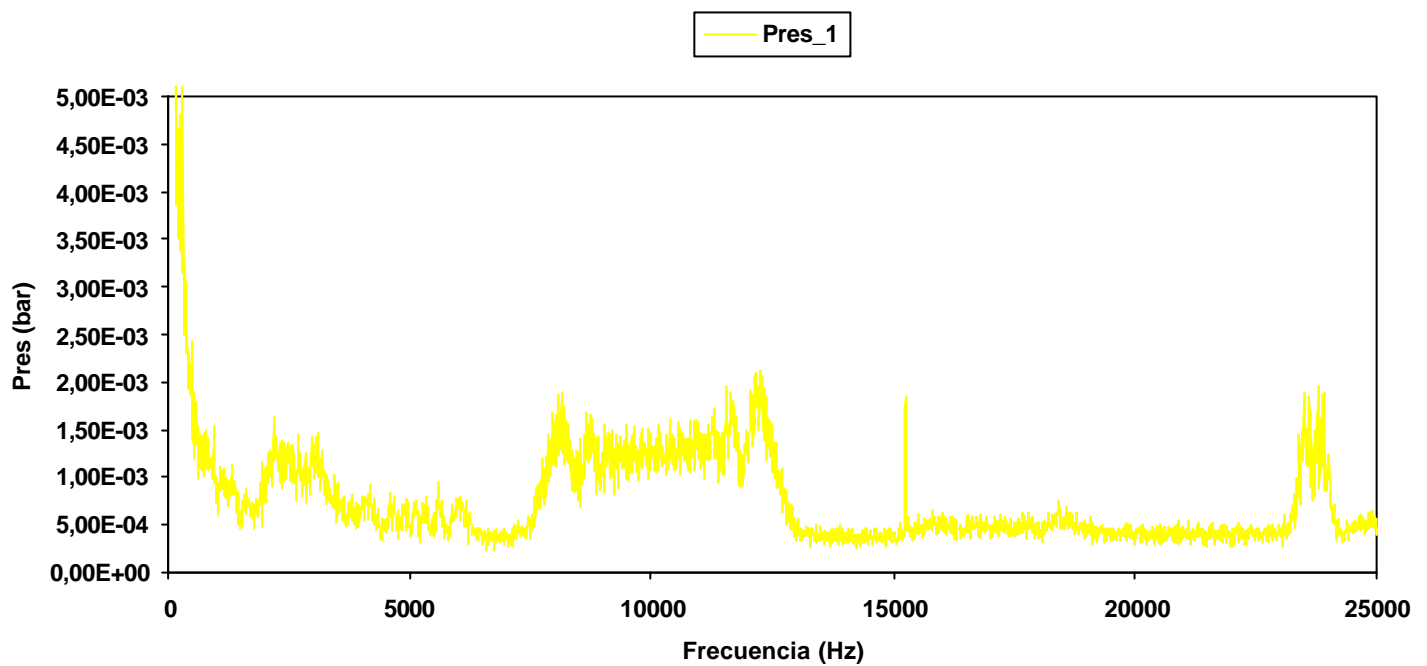


B.1.4. Punto de funcionamiento 161 (de burbuja)

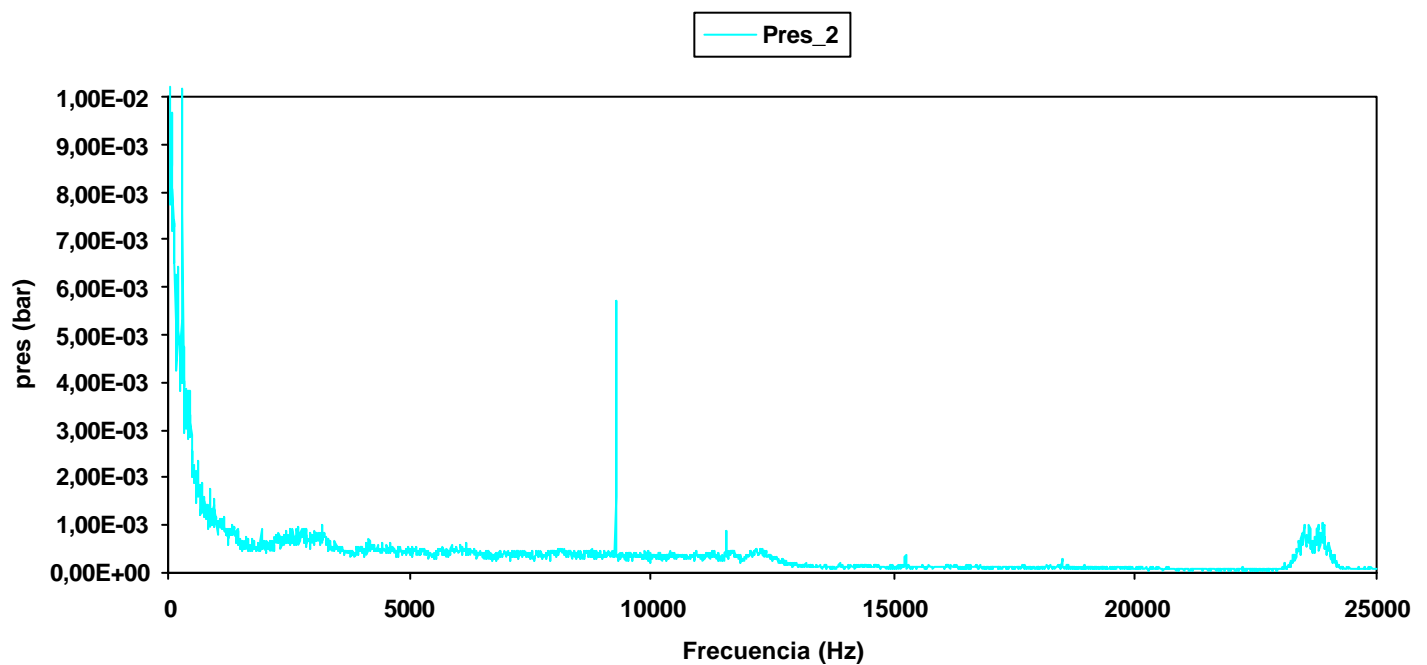
161_1.1(Acel_2)



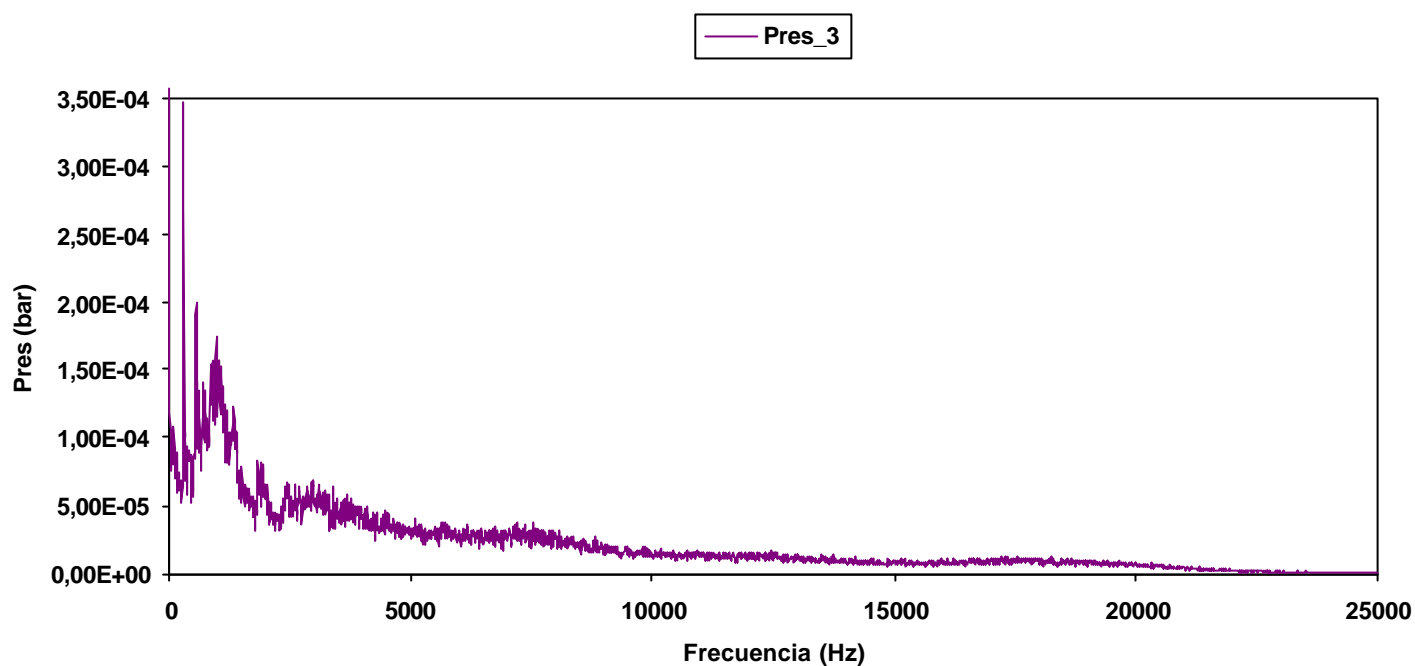
161_1.1(Pres_1)



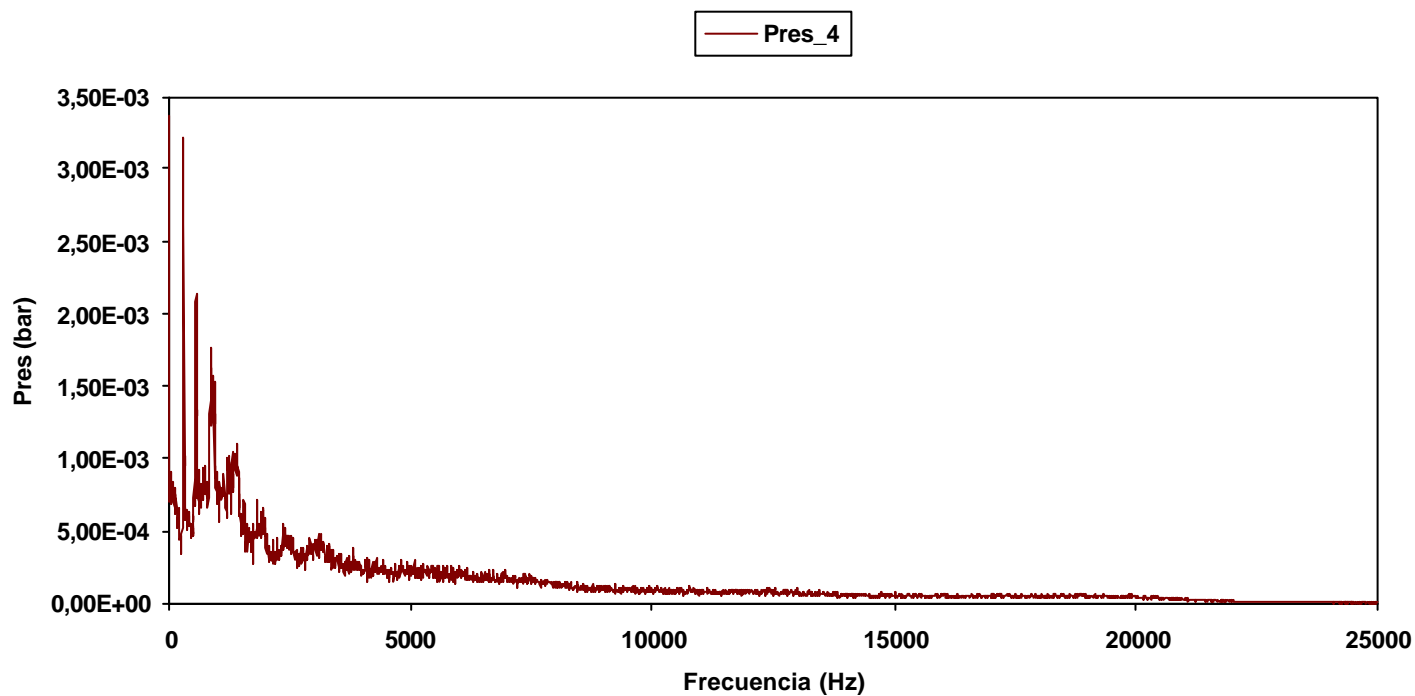
161_1.1(Pres_2)

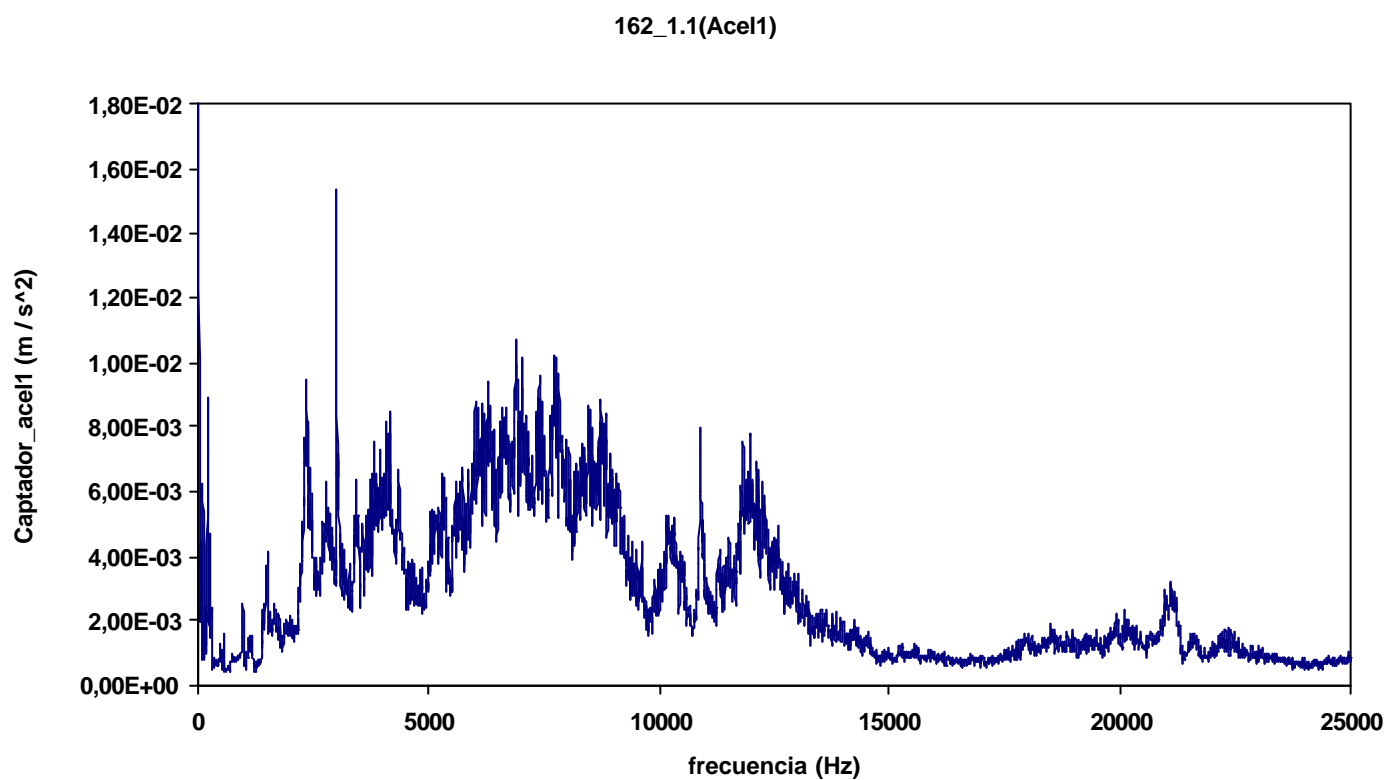


161_1.1(Pres_3)

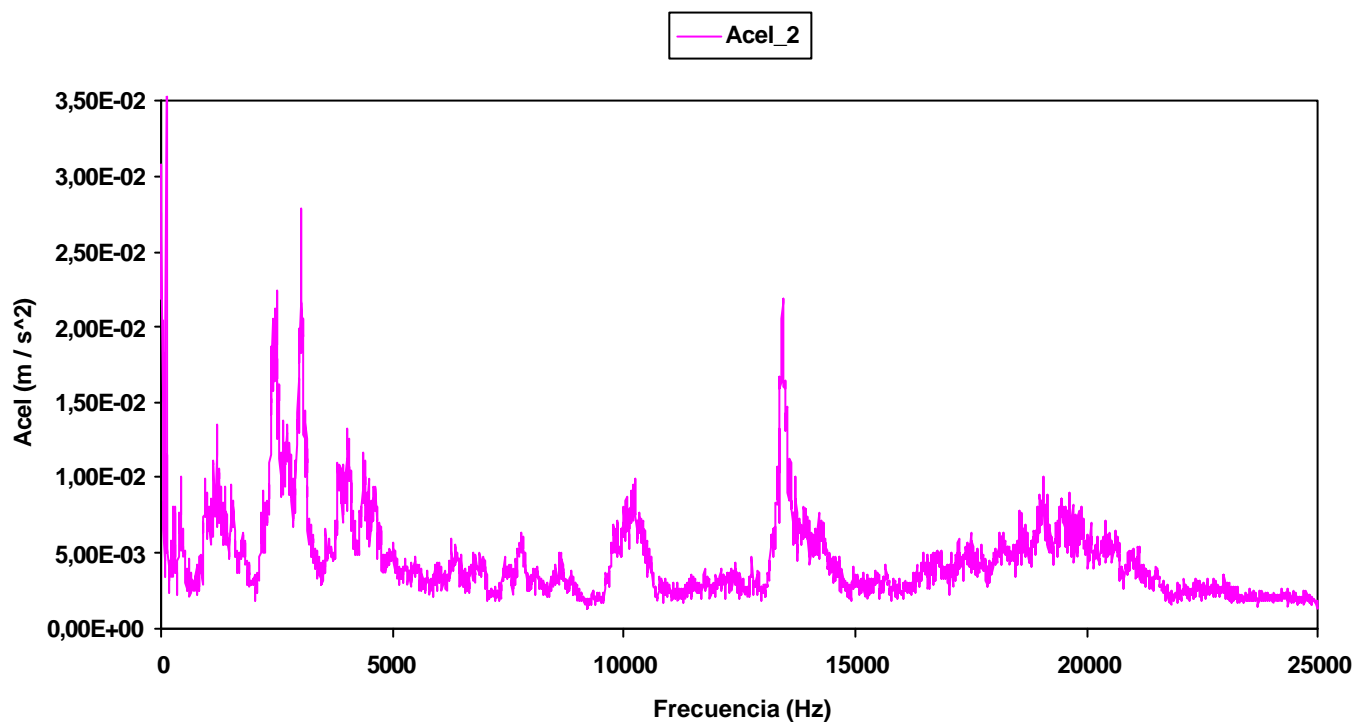


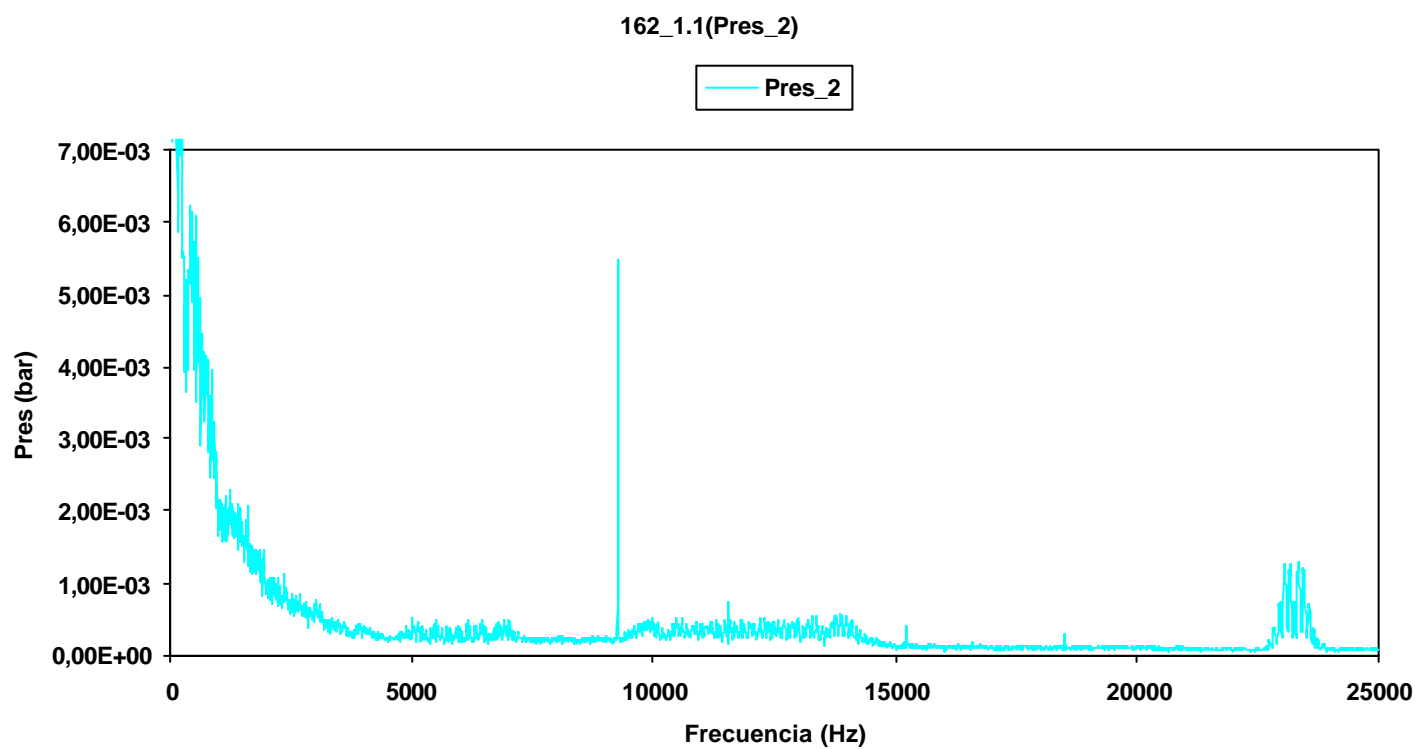
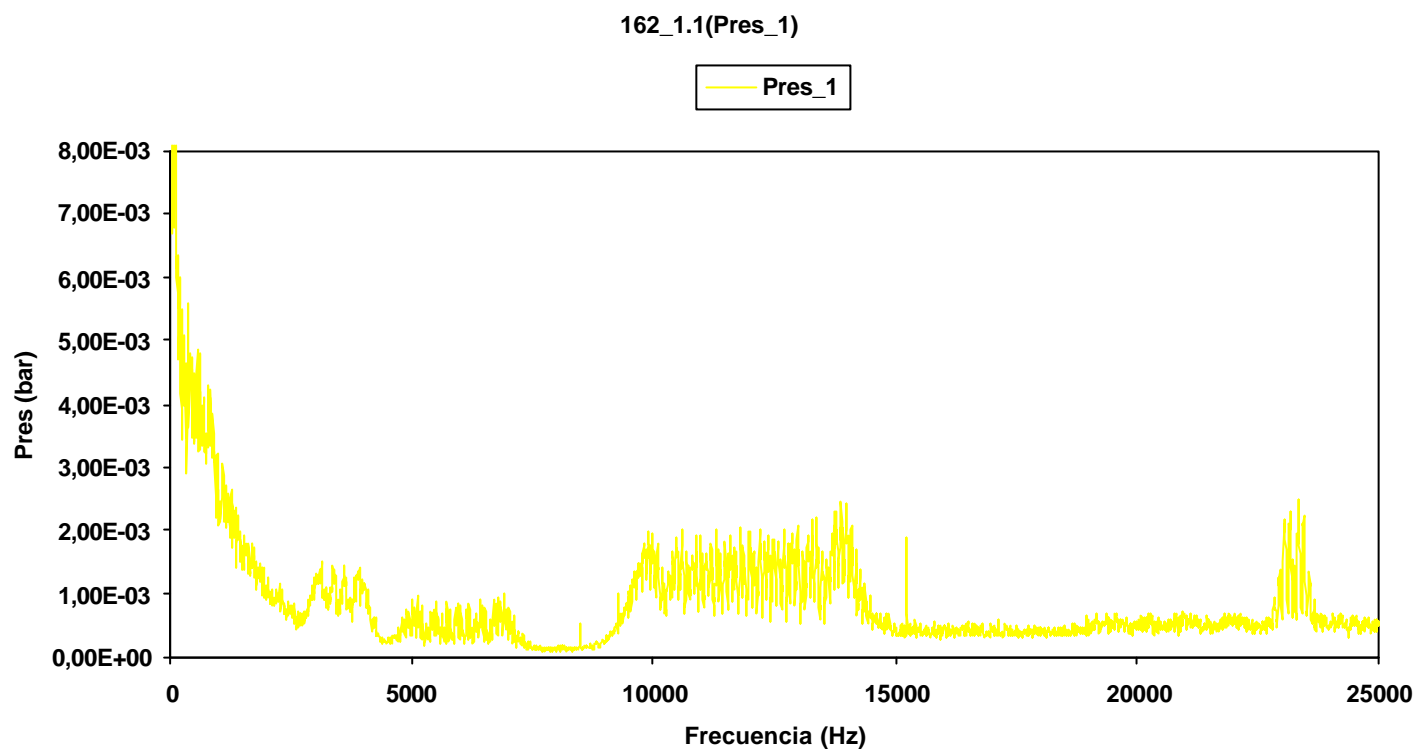
161_1.1(Pres_4)



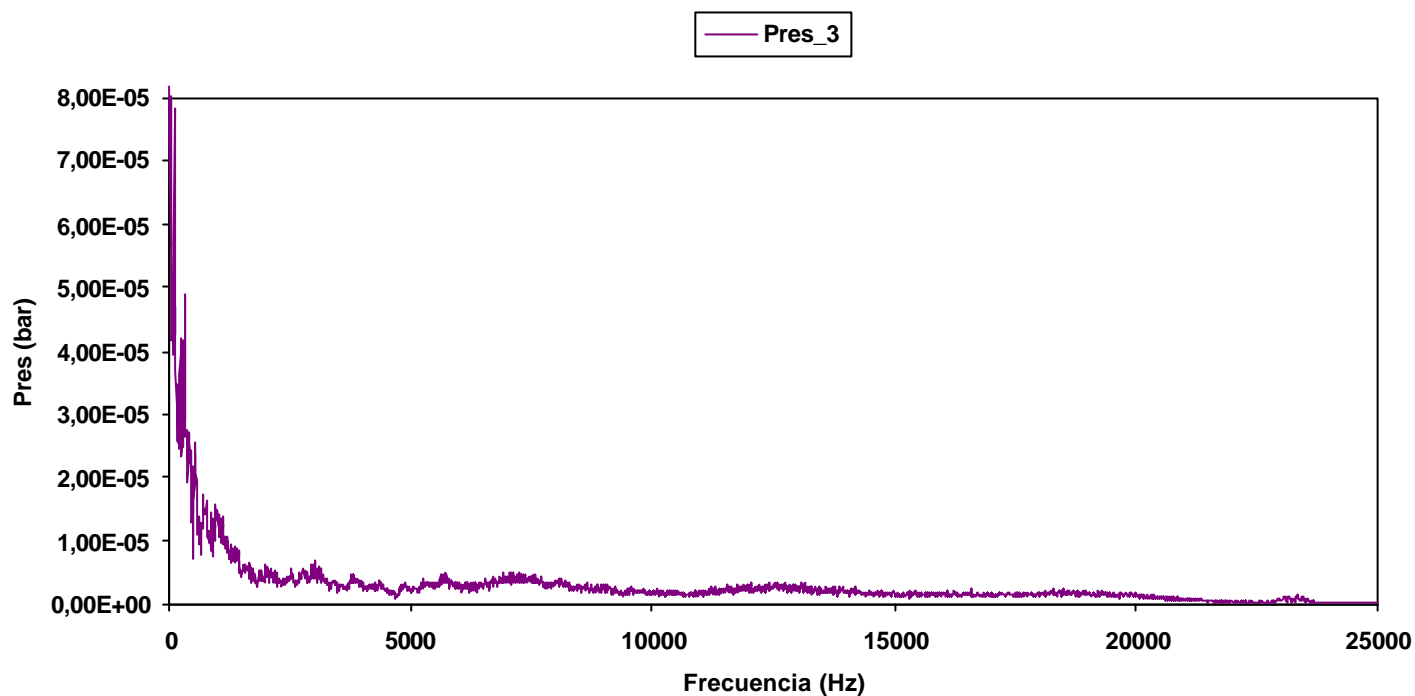
B.1.5. Punto de funcionamiento 162 (de entrada)

162_1.1(Acel_2)

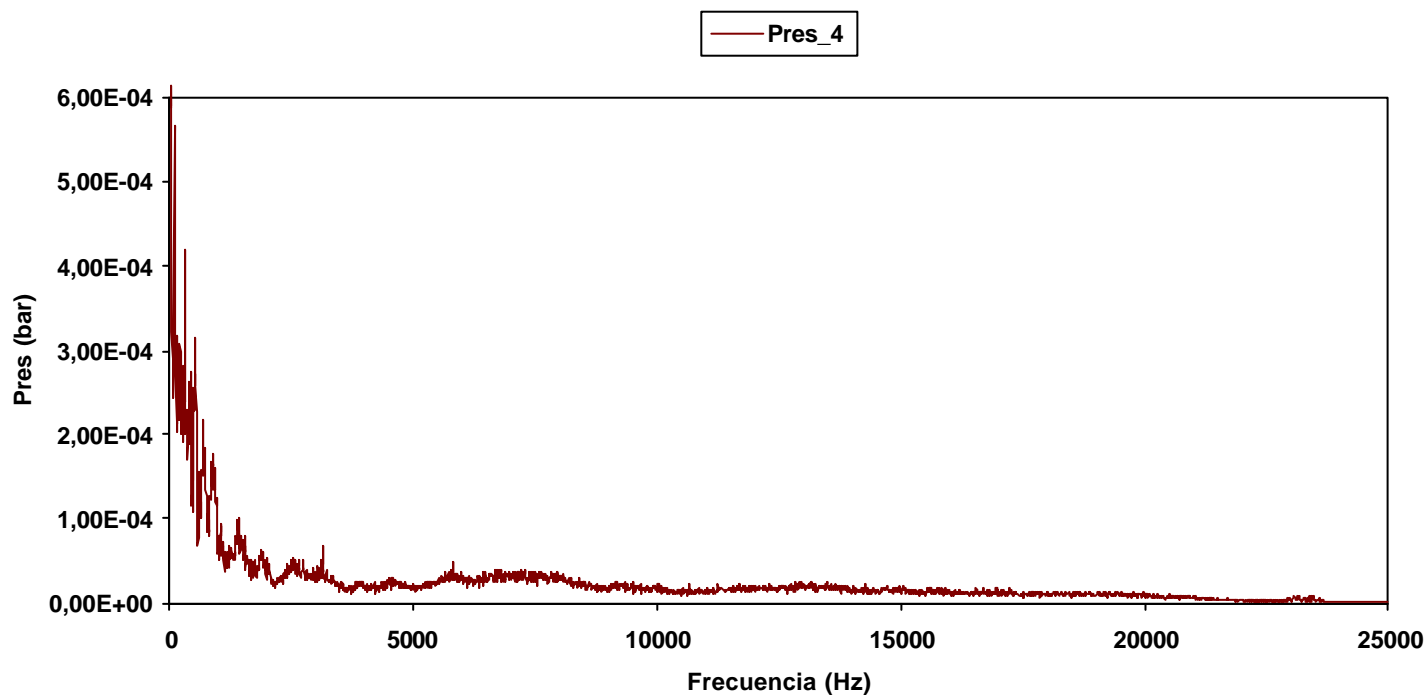


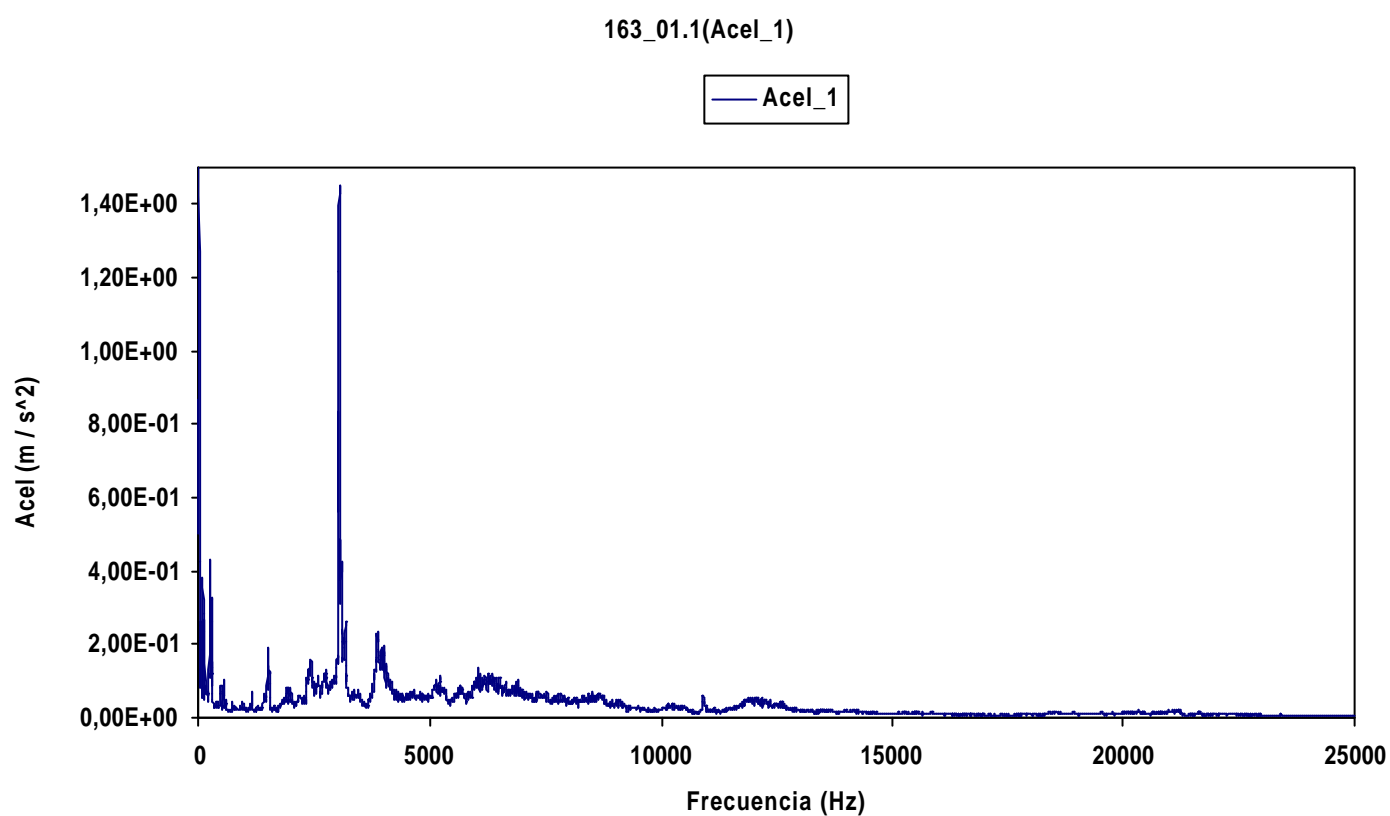


162_1.1(Pres_3)



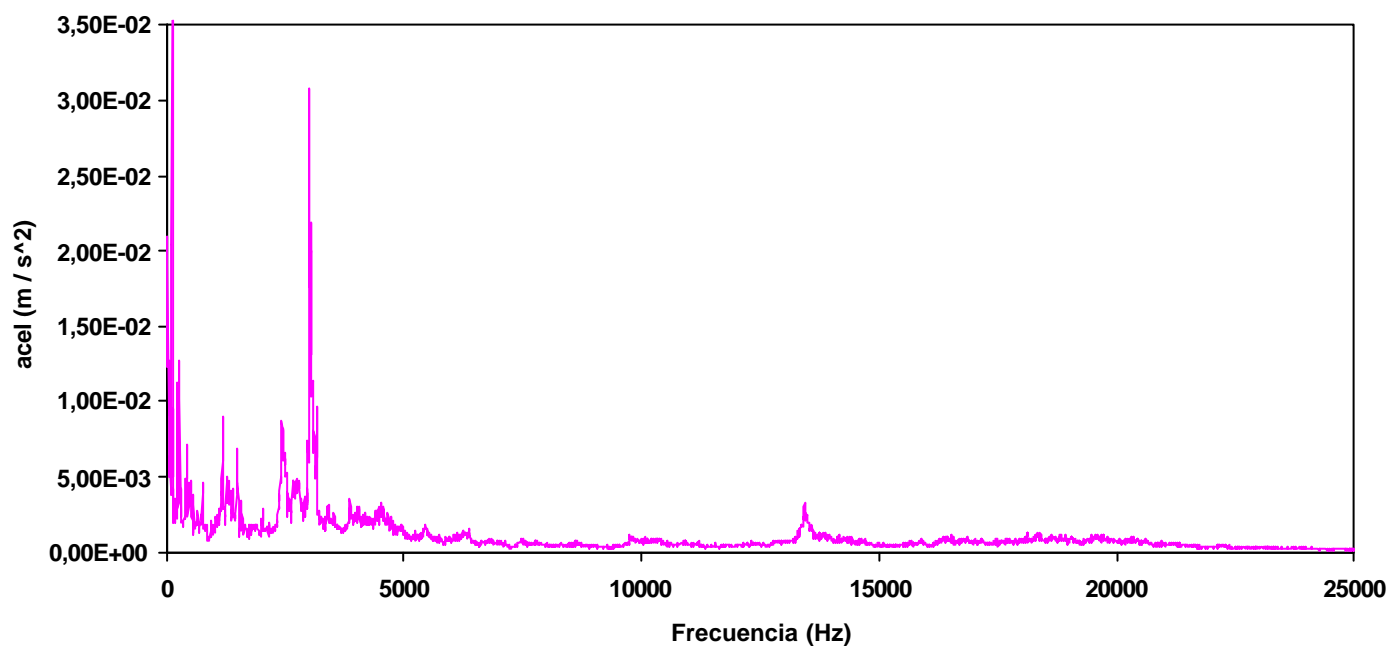
162_1.1(Pres_4)

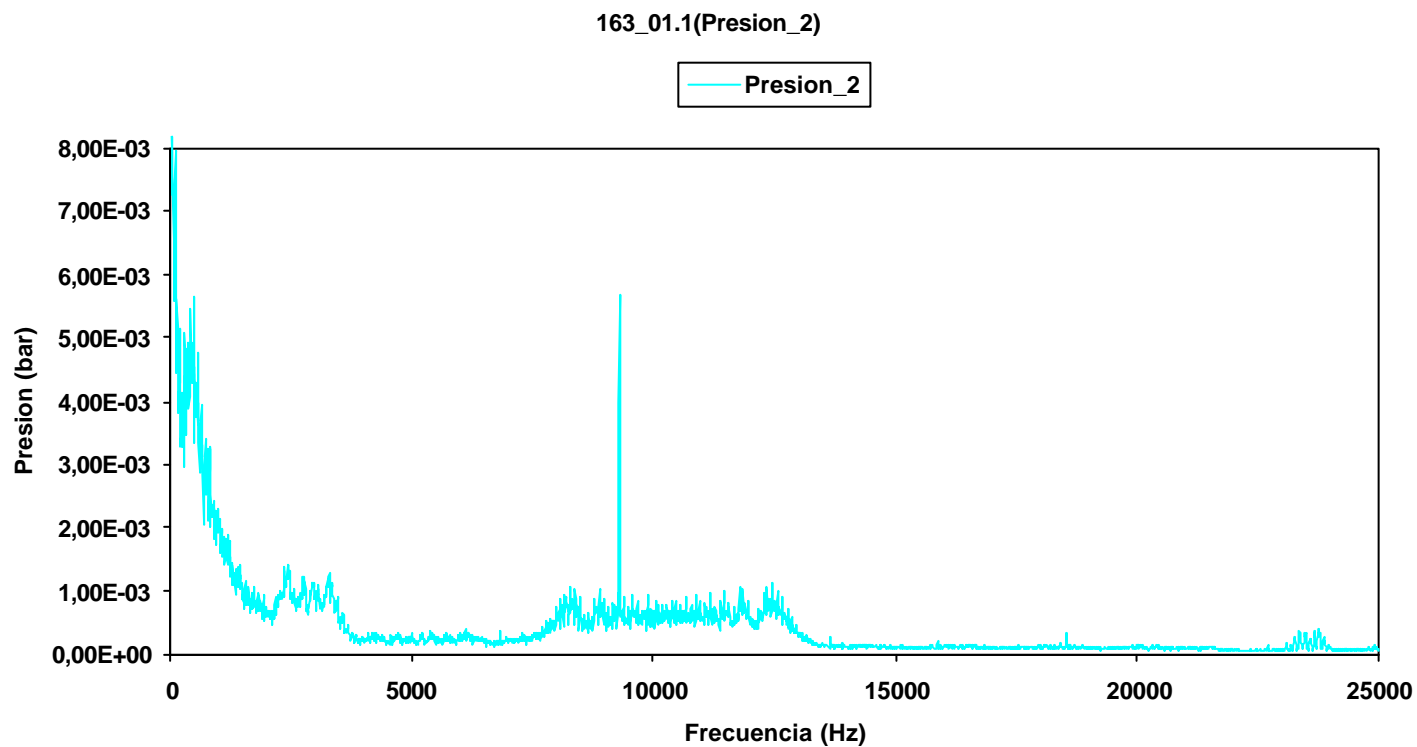
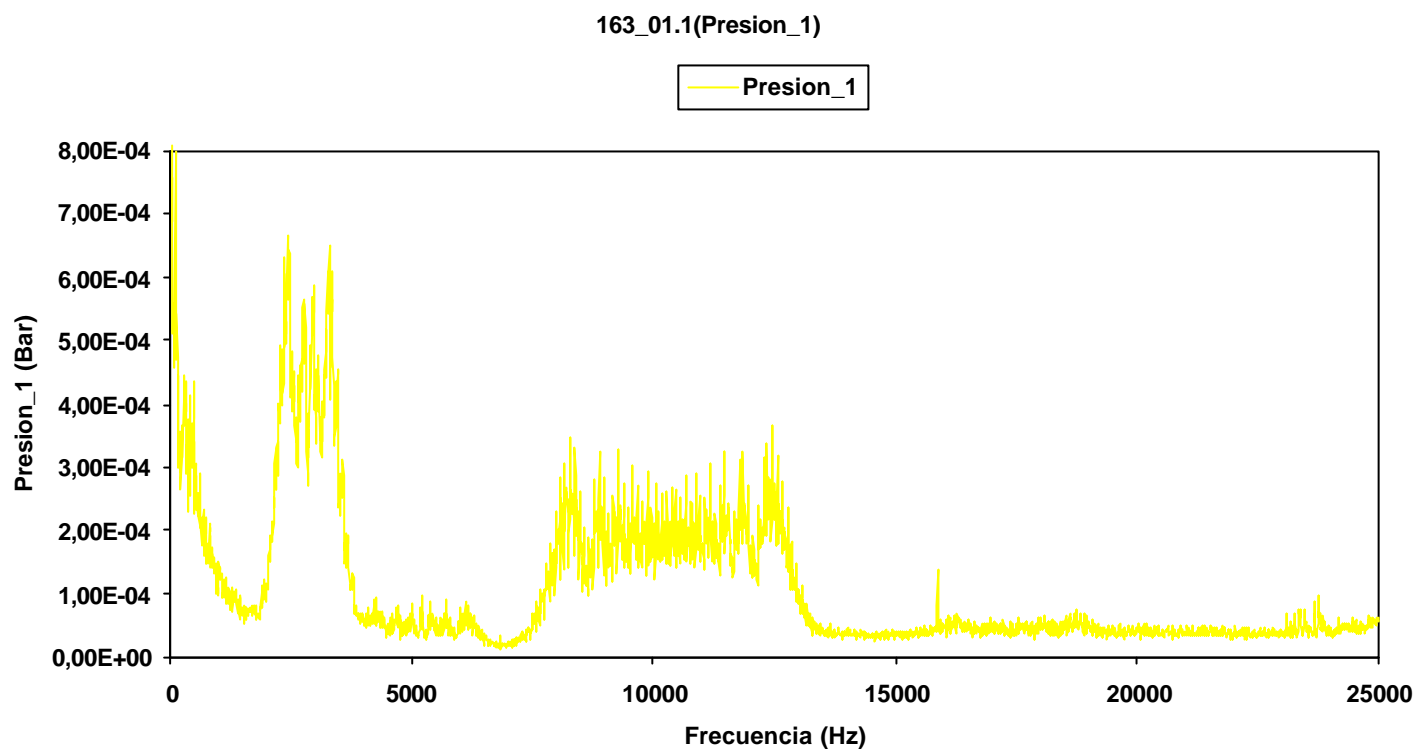


B.1.6. Punto de funcionamiento 163 (sin cavitación)

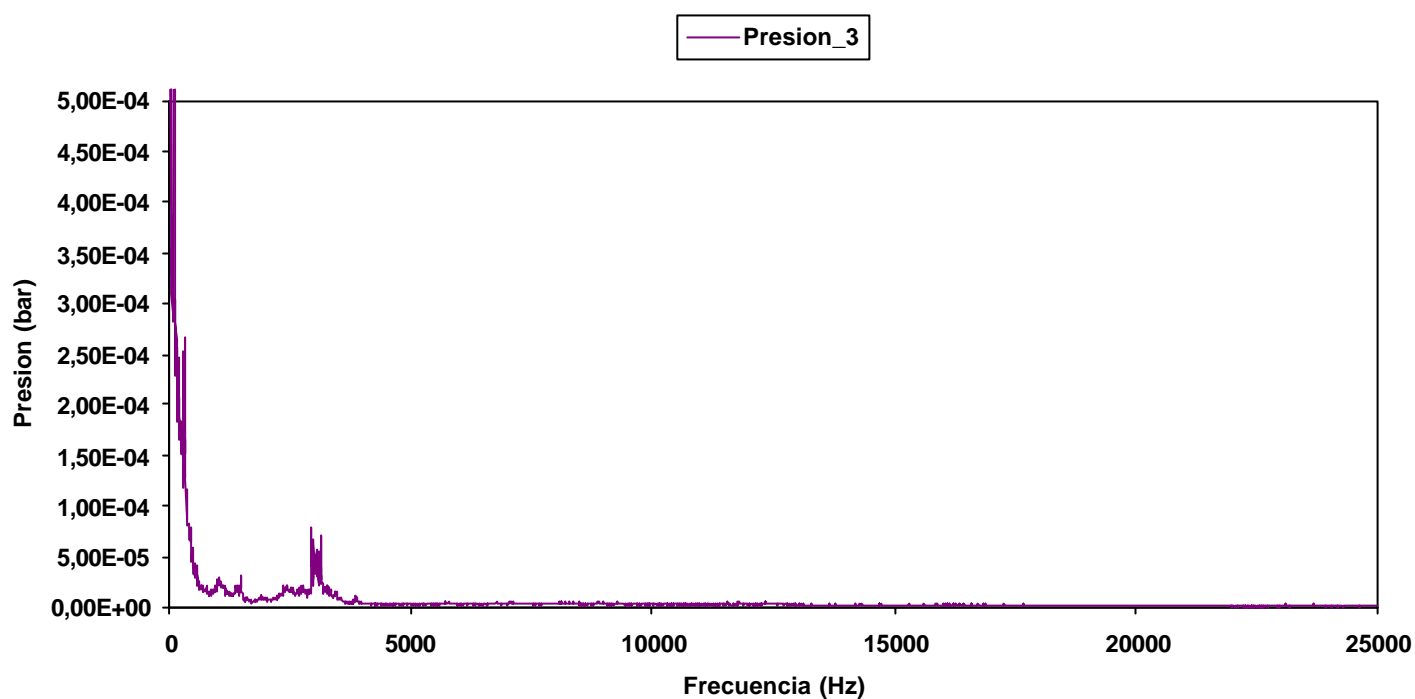
163_01.1(Acel_2)

Acel_2

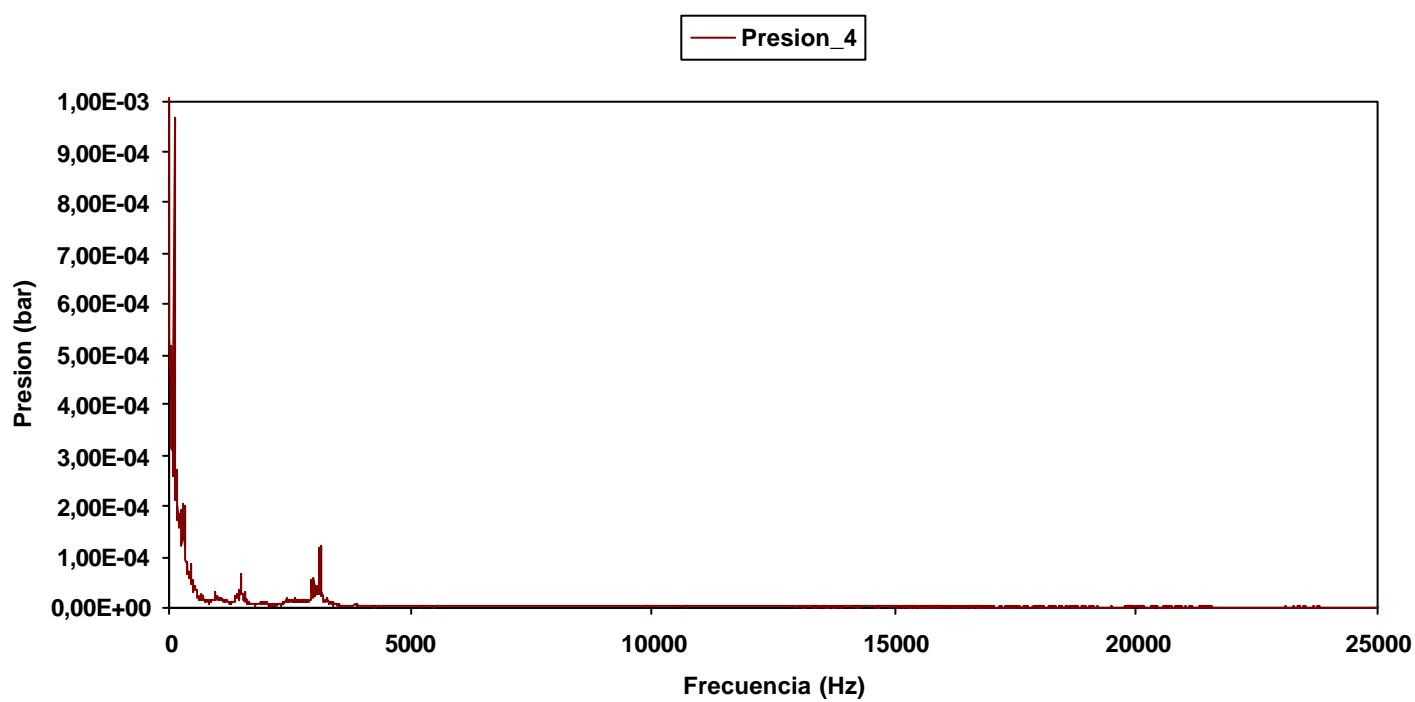


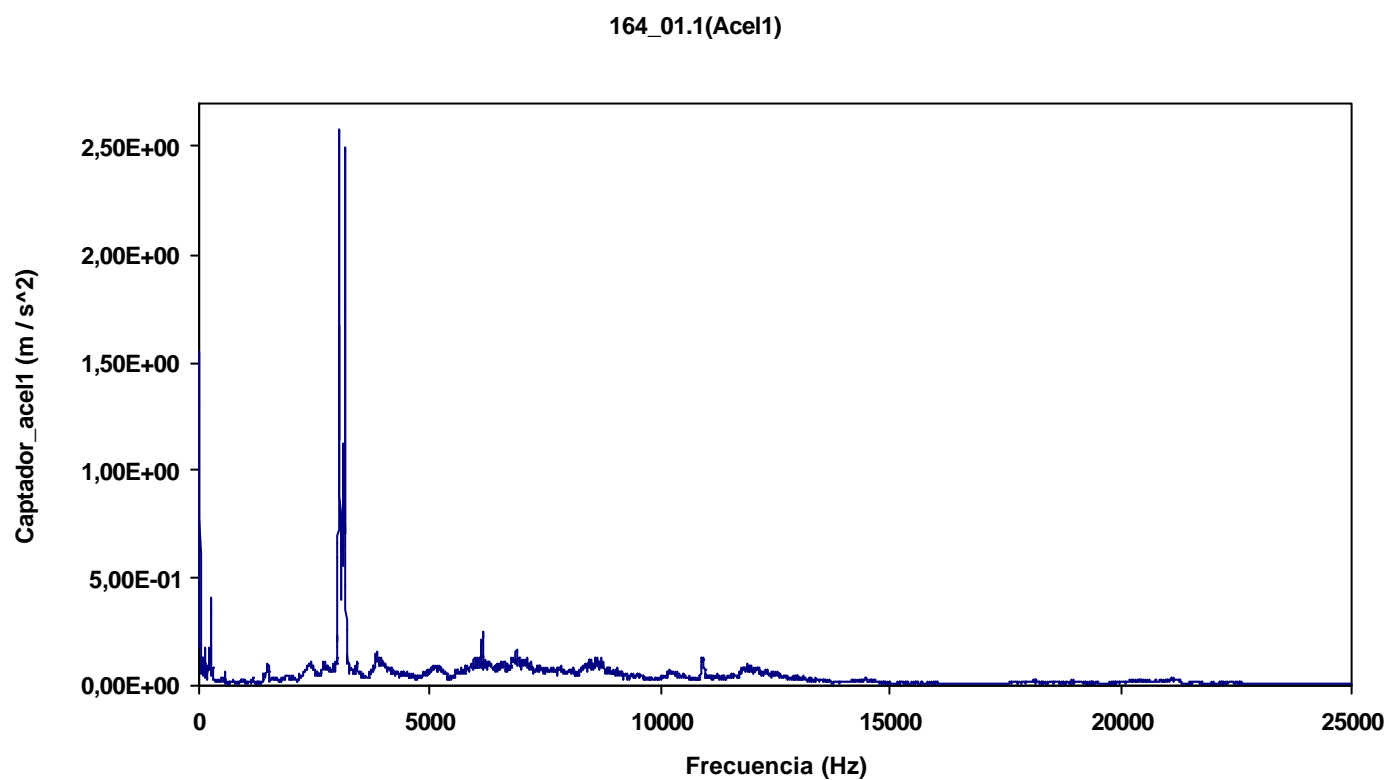


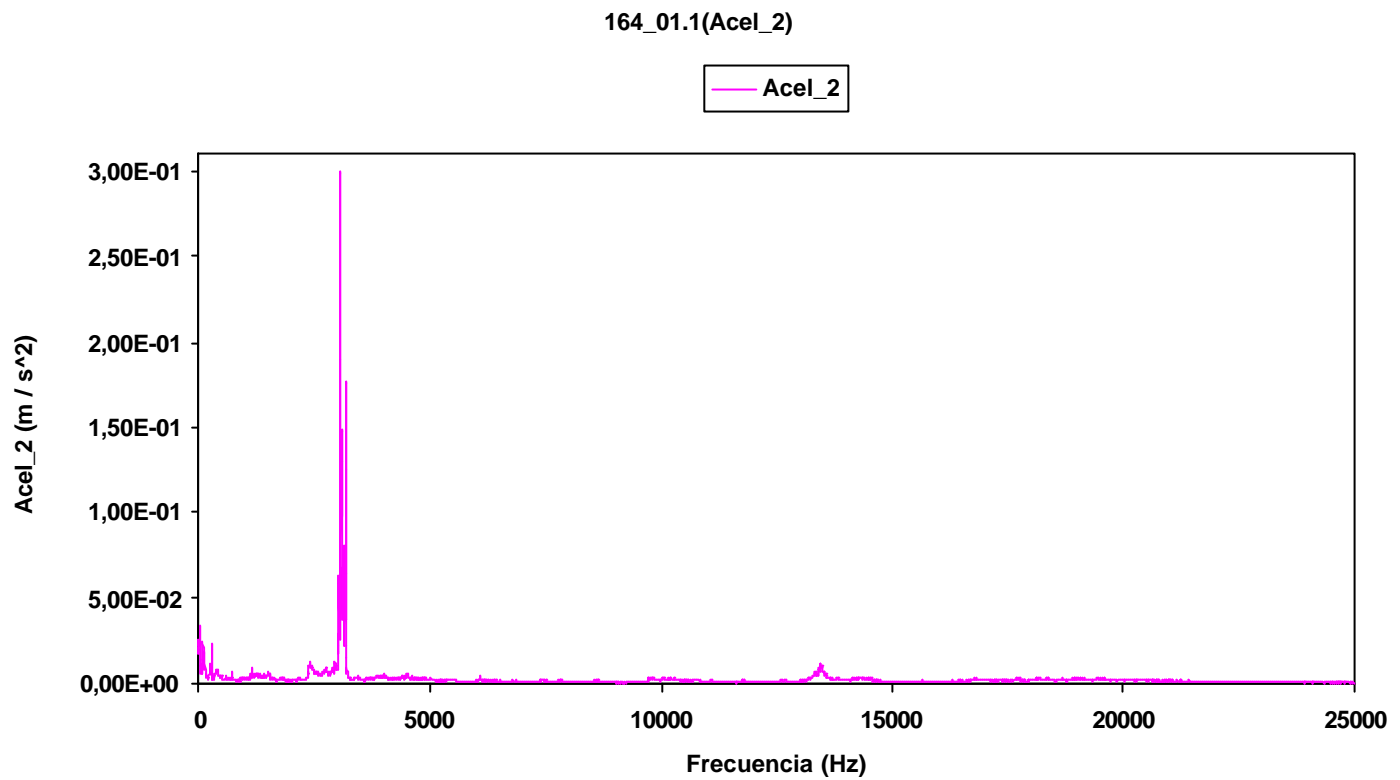
163_01.1(Presion_3)



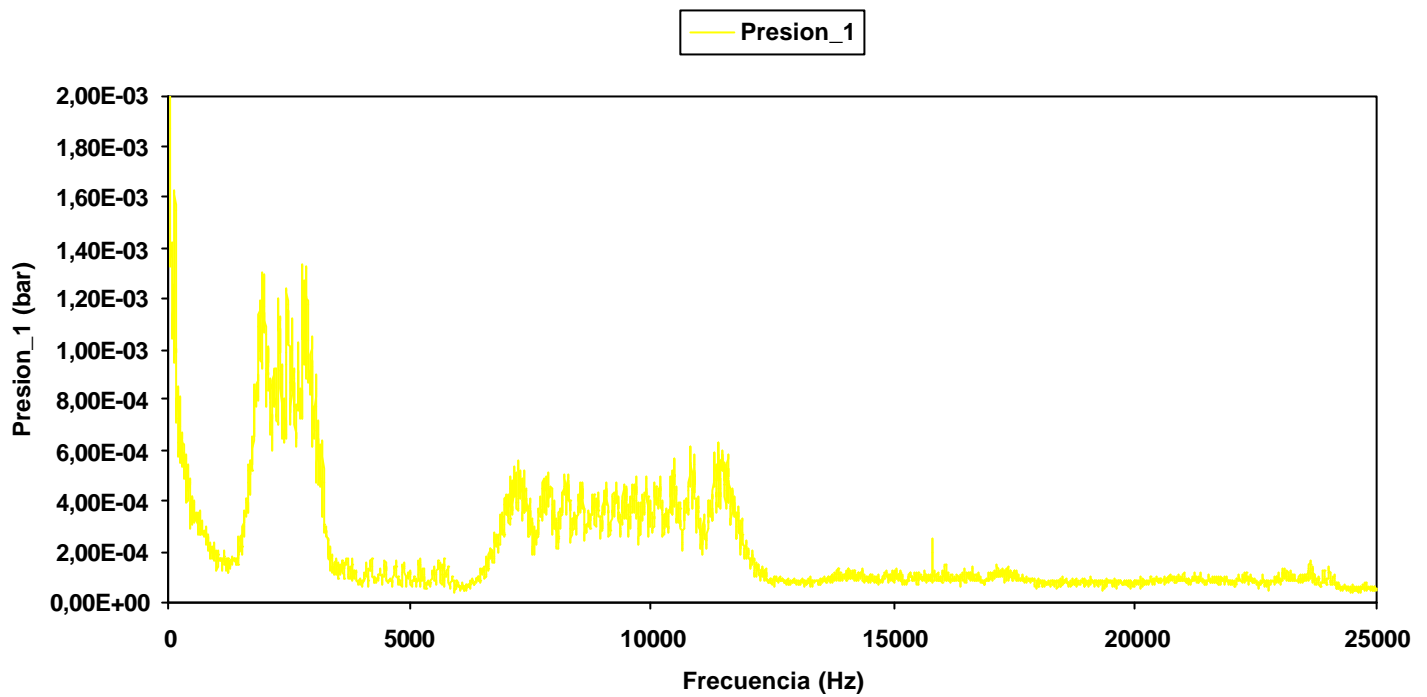
163_01.1(Presion_4)



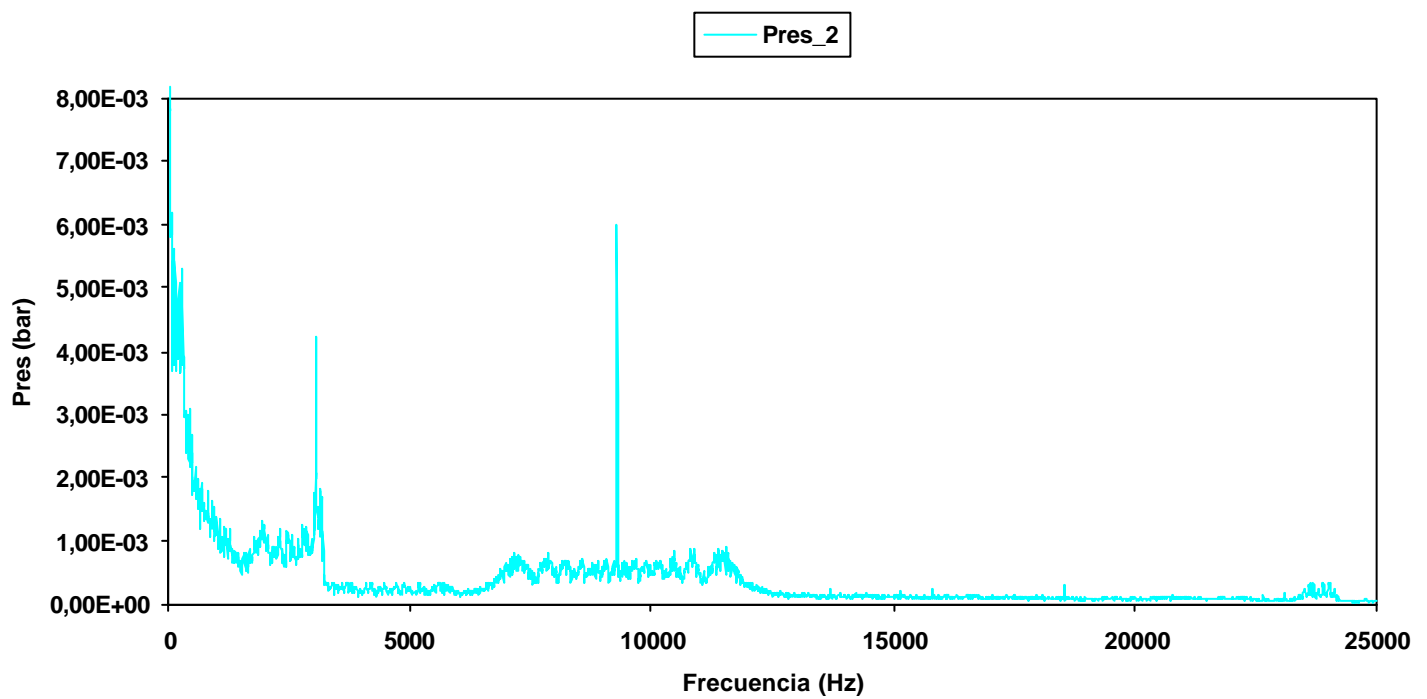
B.1.7. Punto de funcionamiento 164 (salida álabe)



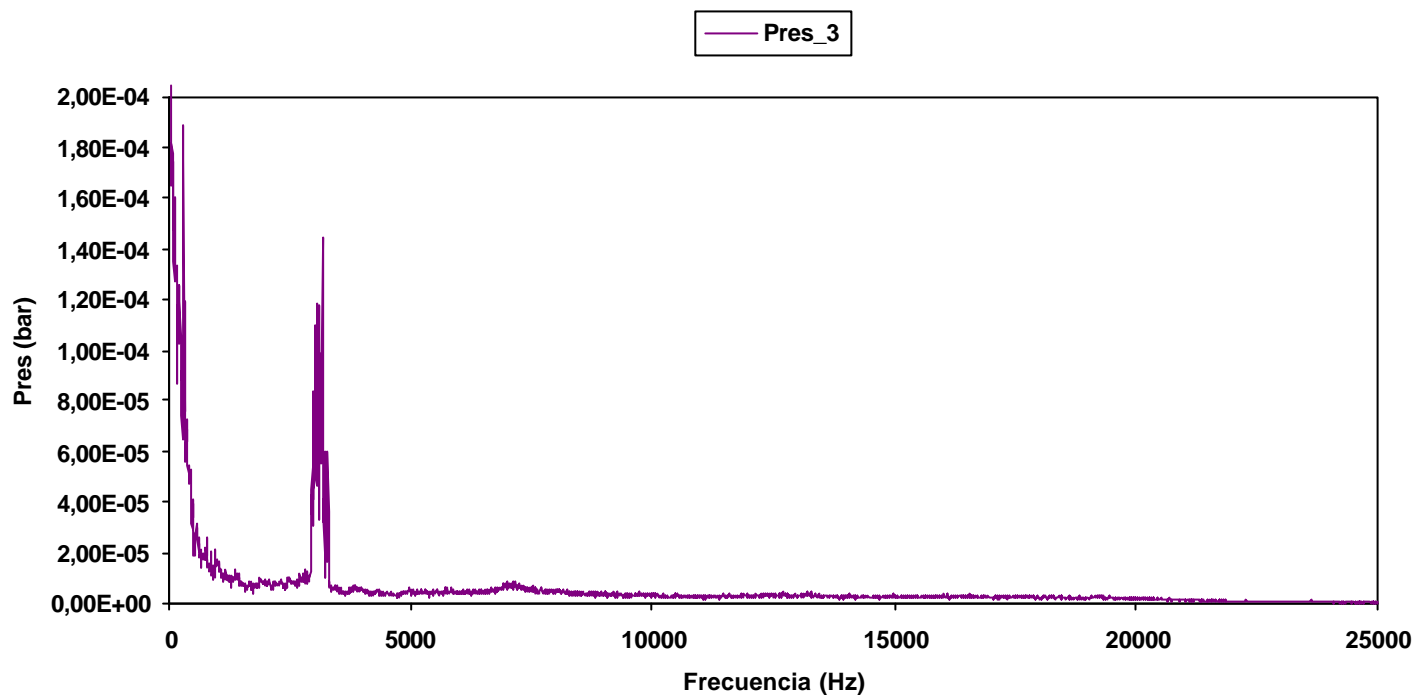
164_01.1(Presion_1)



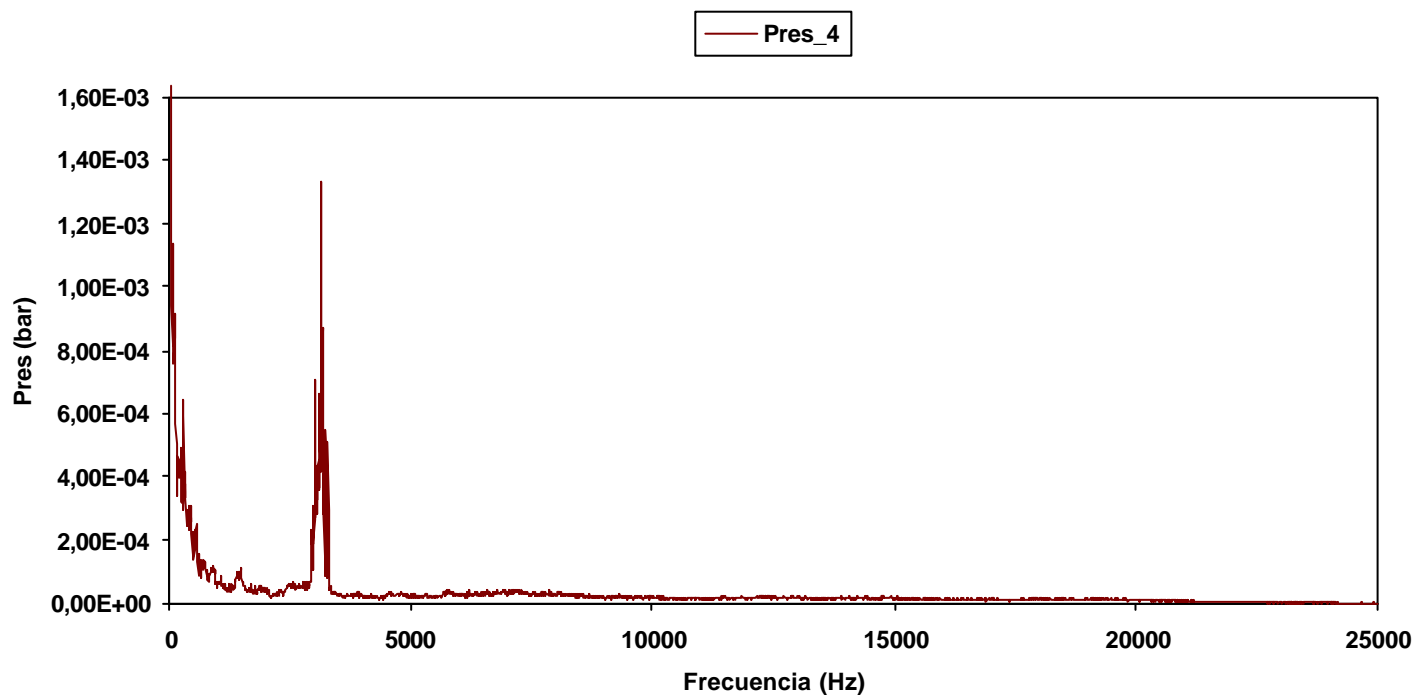
164_01.1(Pres_2)

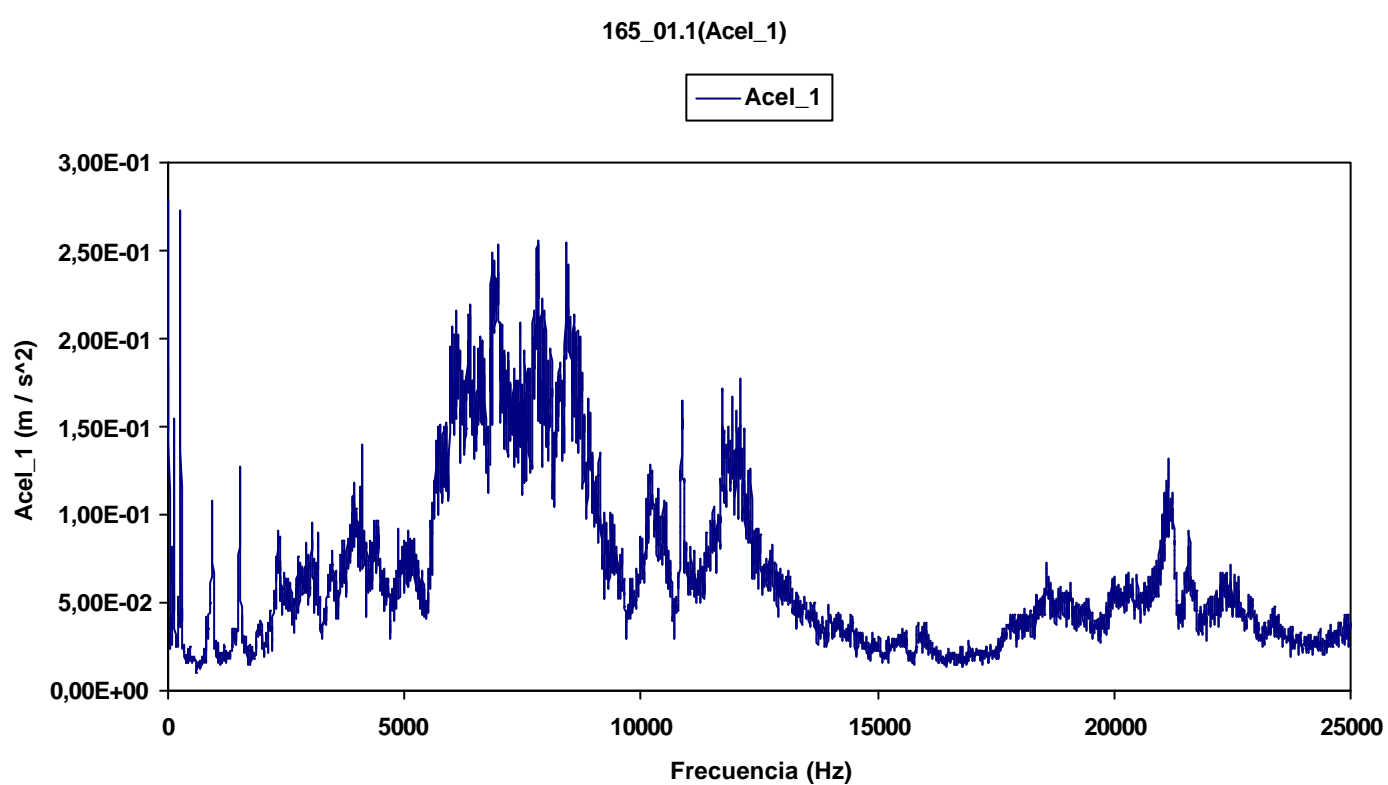


164_01.1(Pres_3)

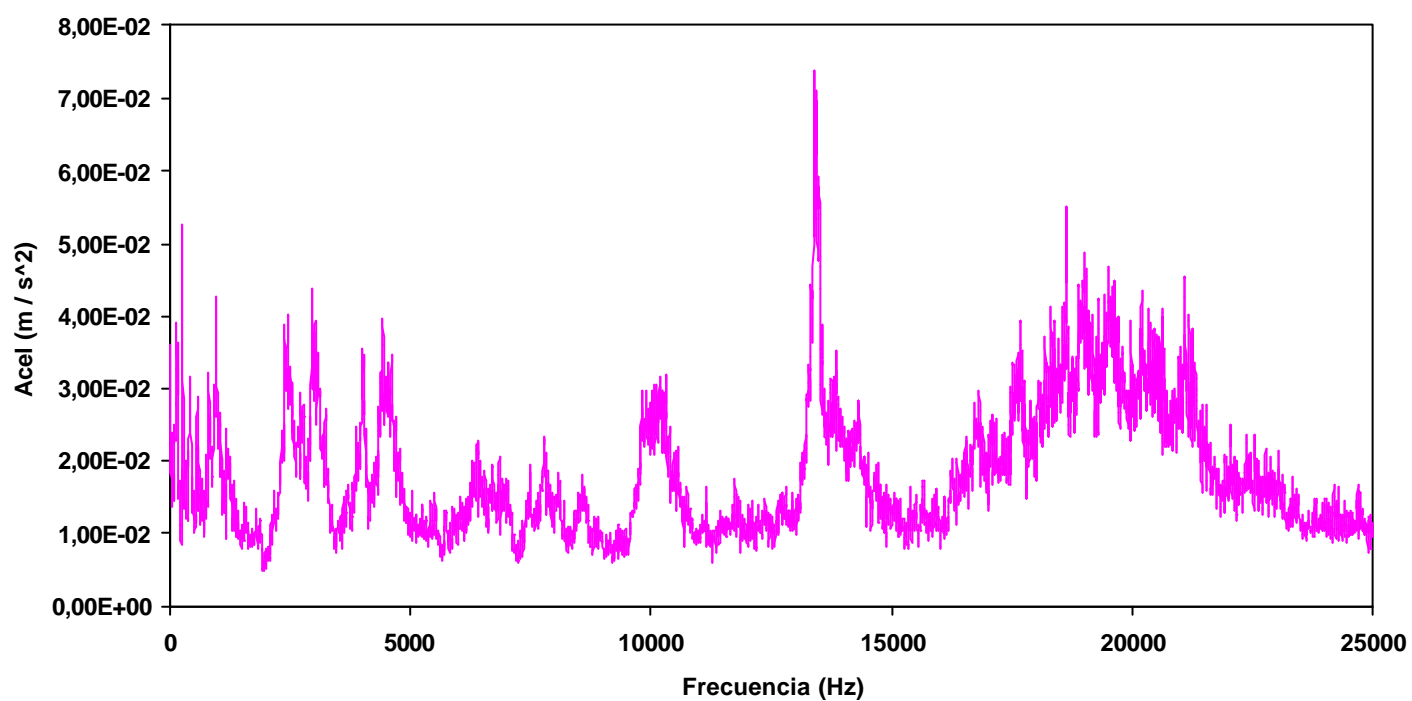


164_01.1(Pres_4)

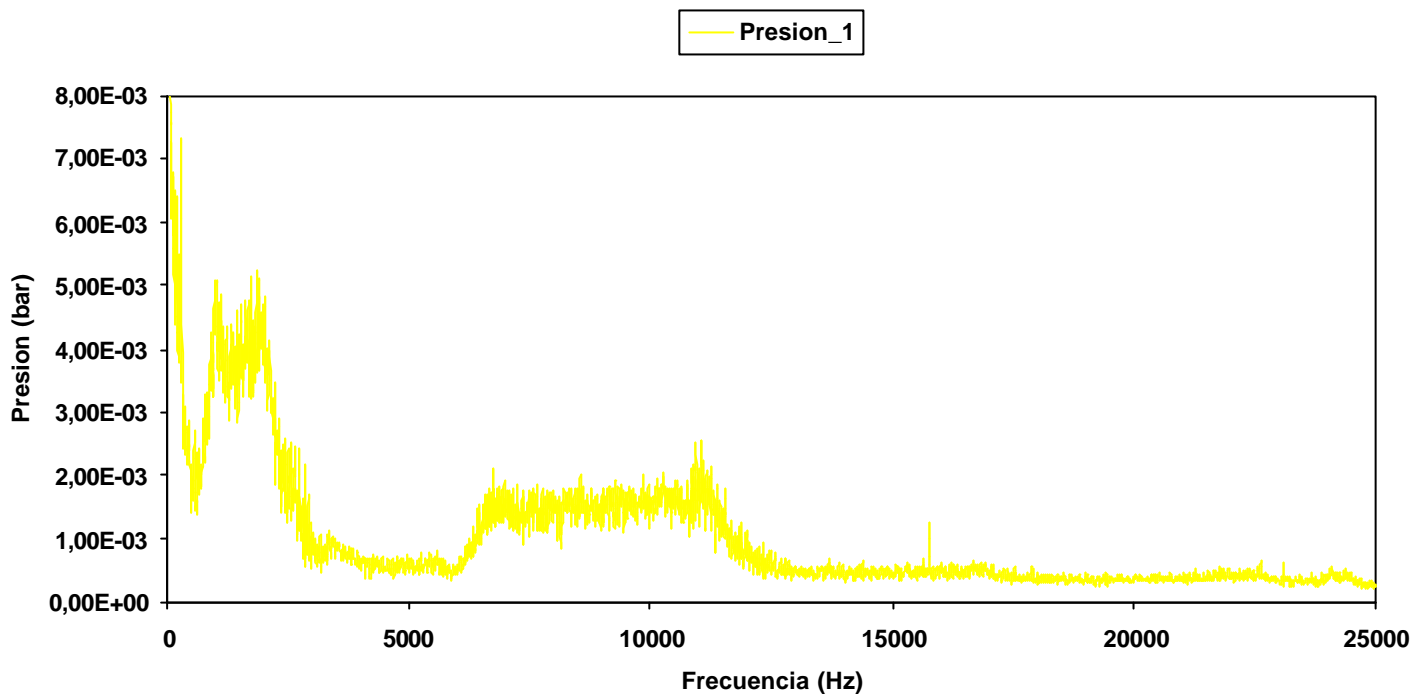


B.1.8. Punto de funcionamiento 165 (burbuja)

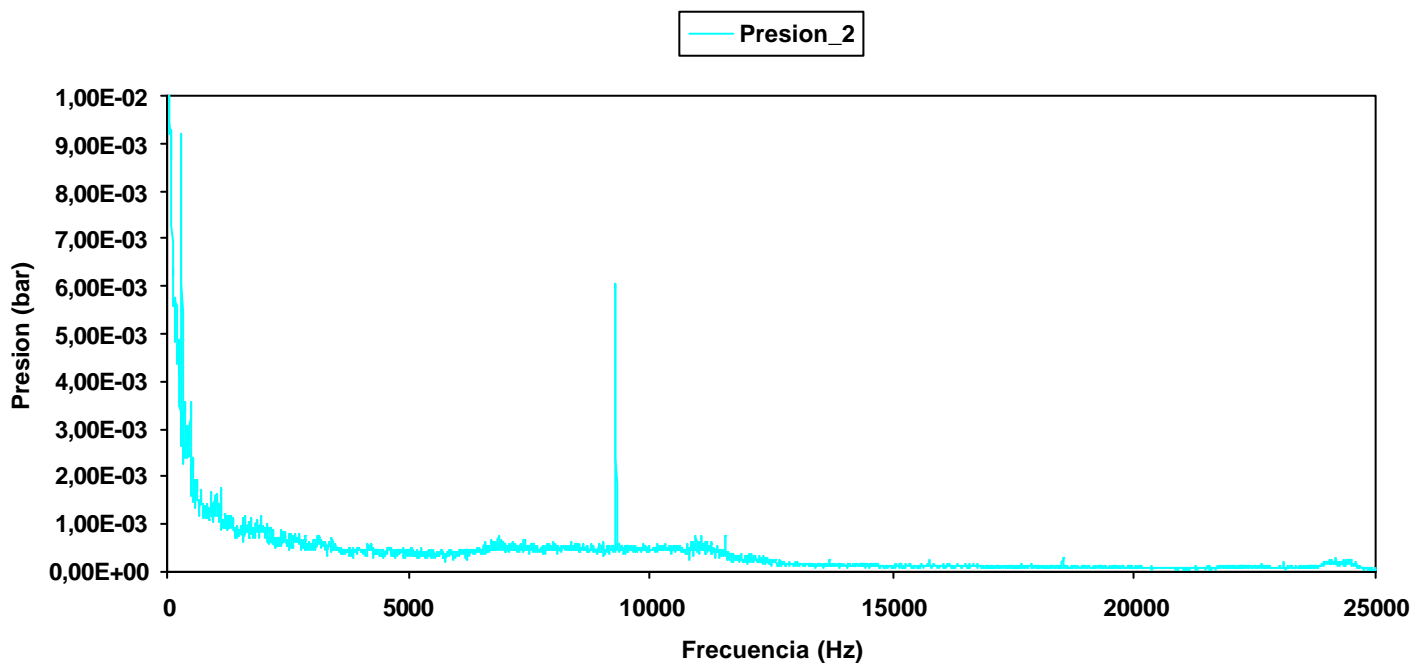
165_01.1(Acel_2)



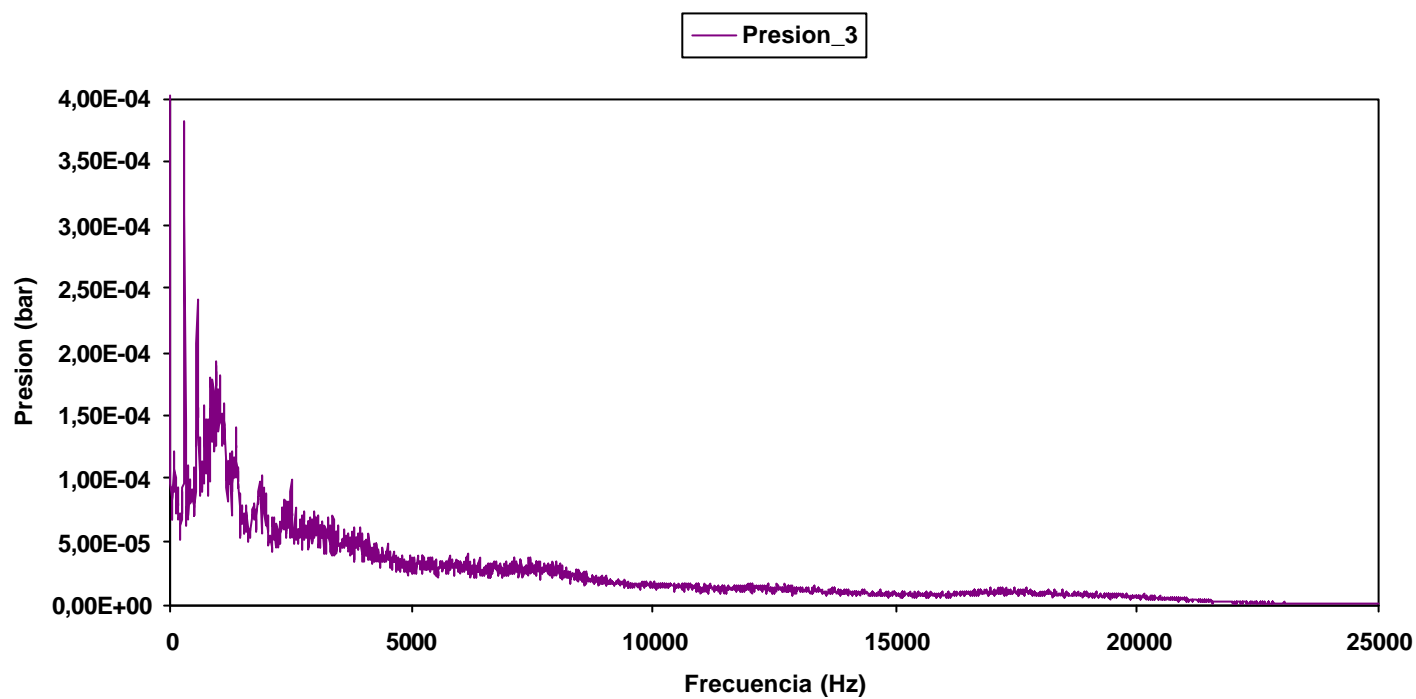
165_01.1(Presion_1)



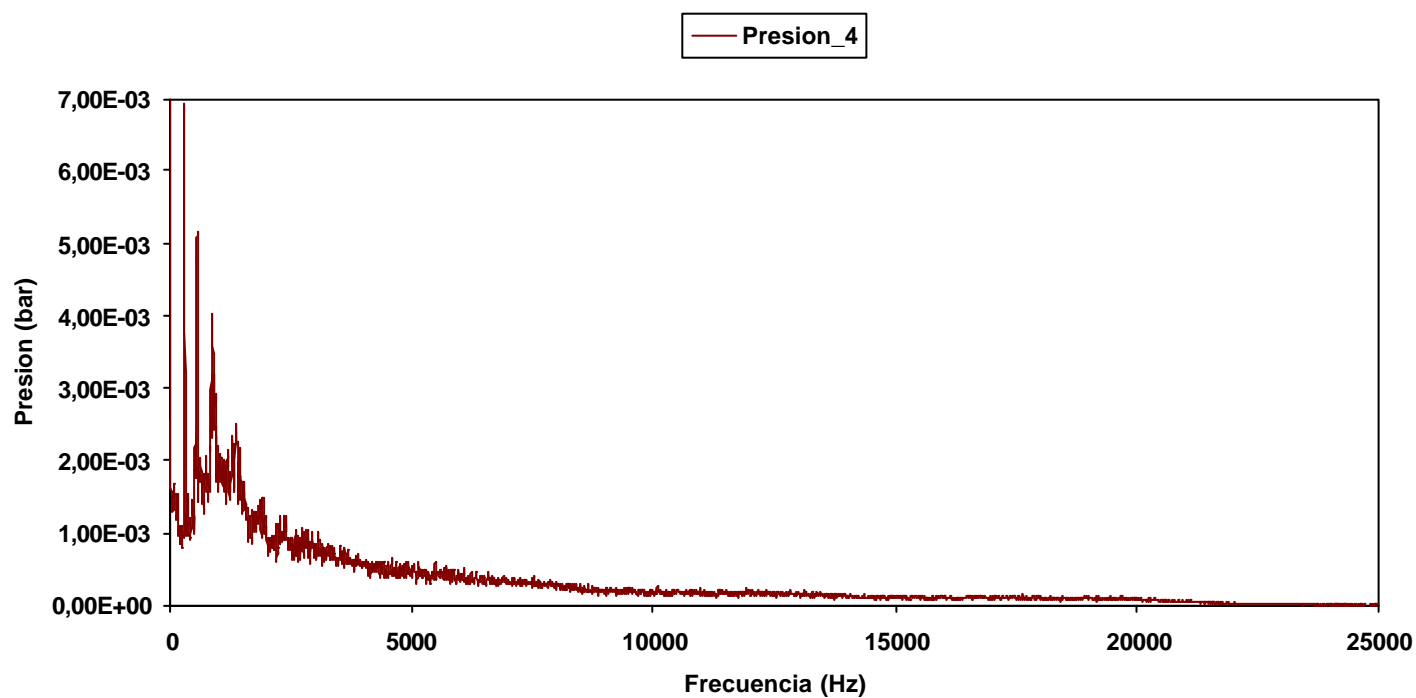
165_01.1(Presion_2)

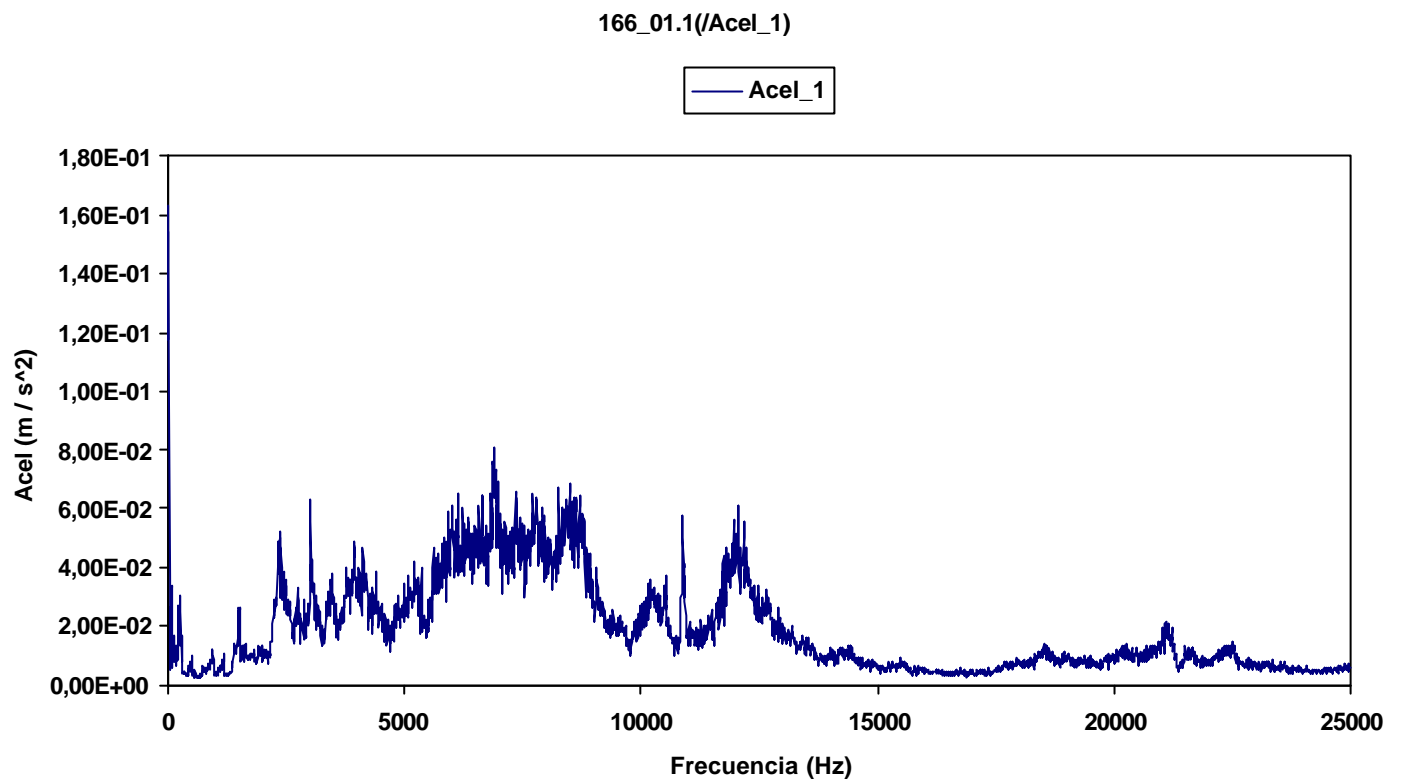


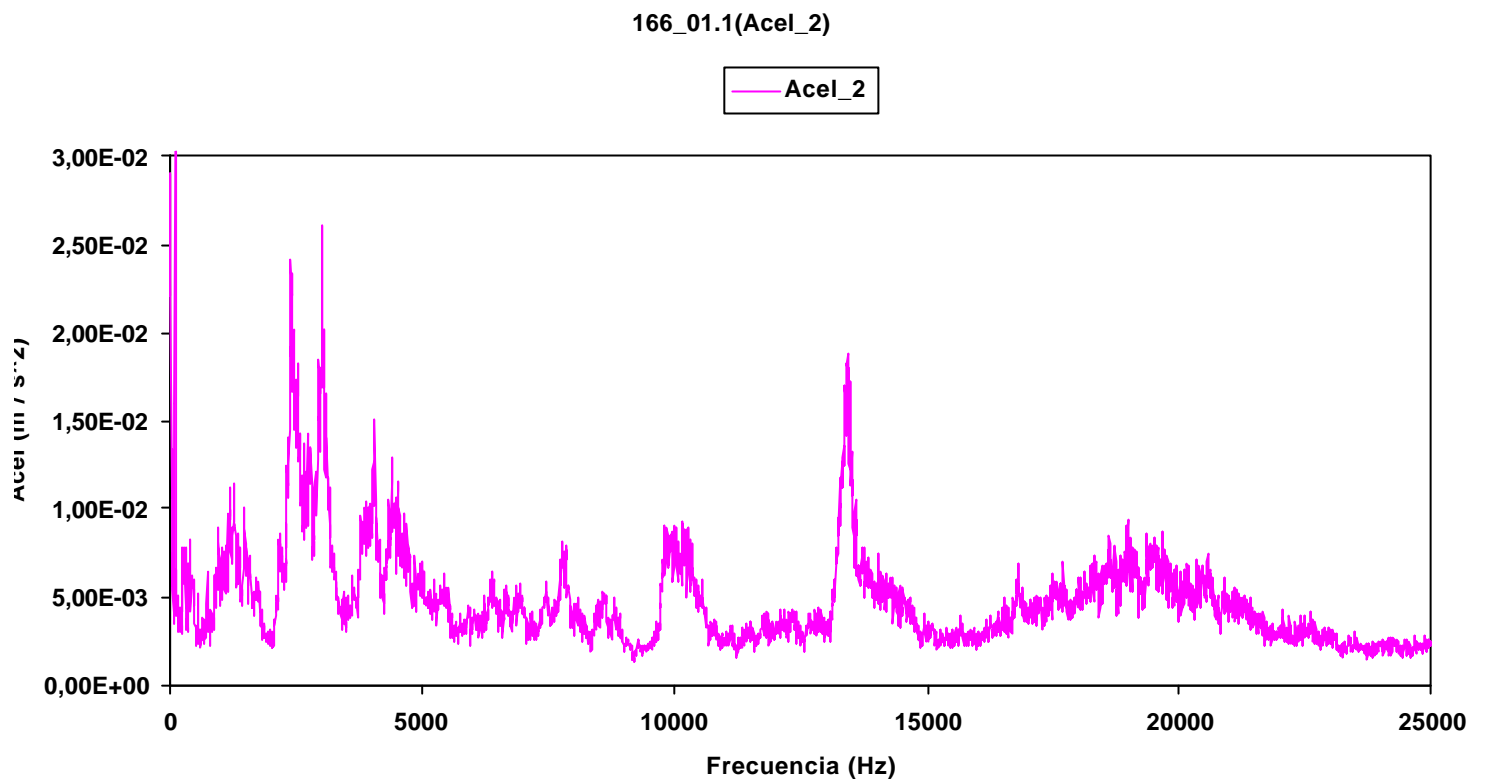
165_01.1(Presion_3)



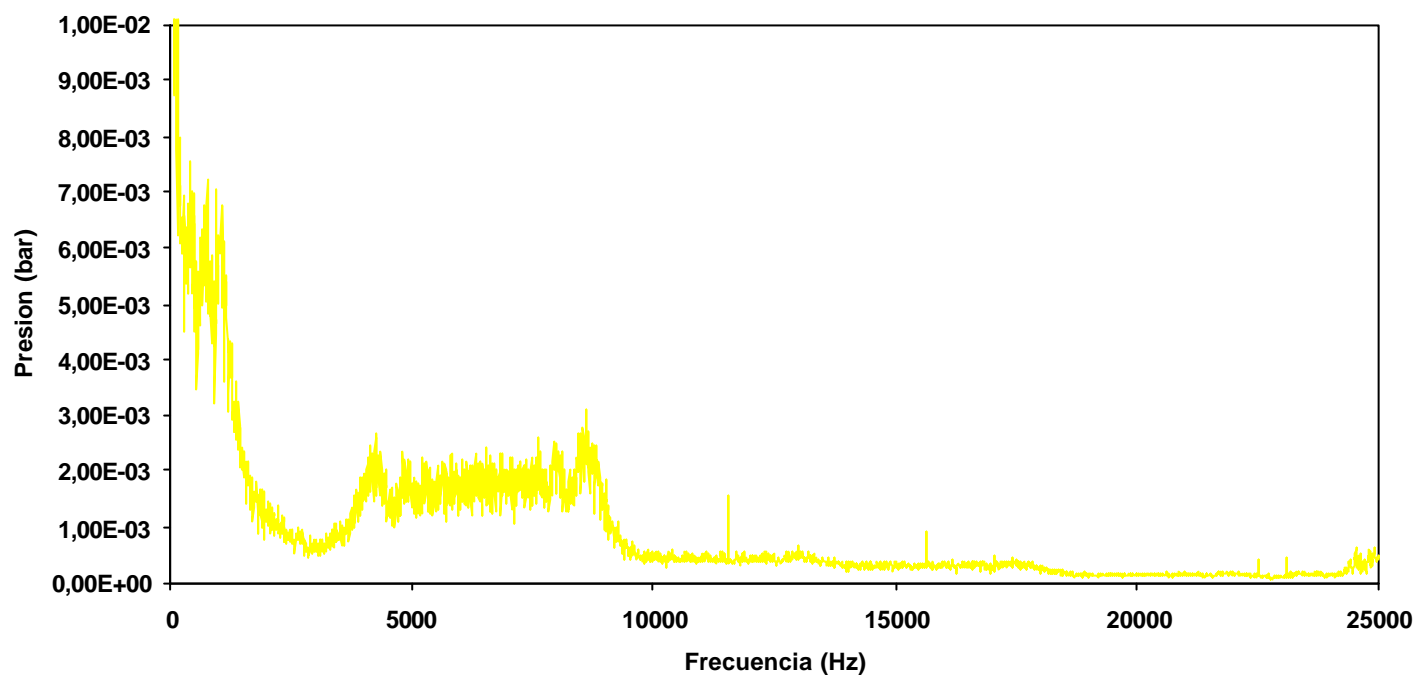
165_01.1(Presion_4)



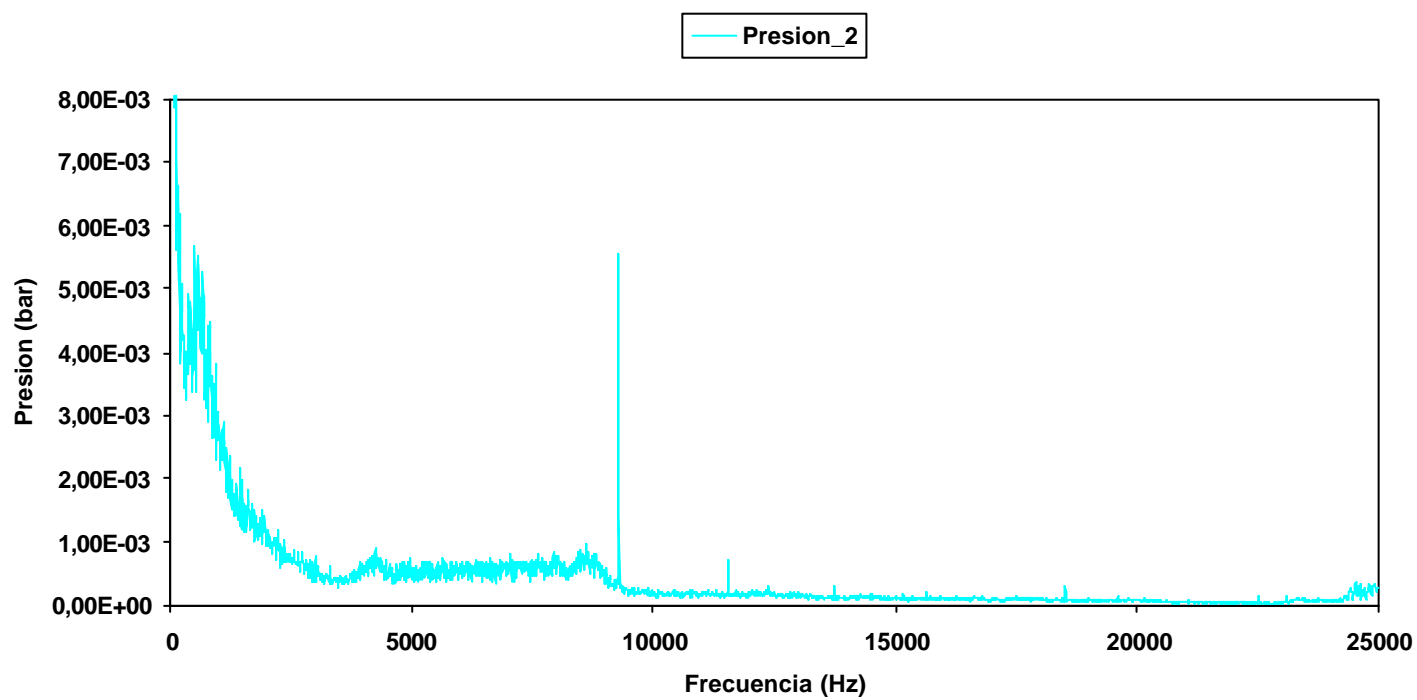
B.1.9. Punto de funcionamiento 166 (entrada)



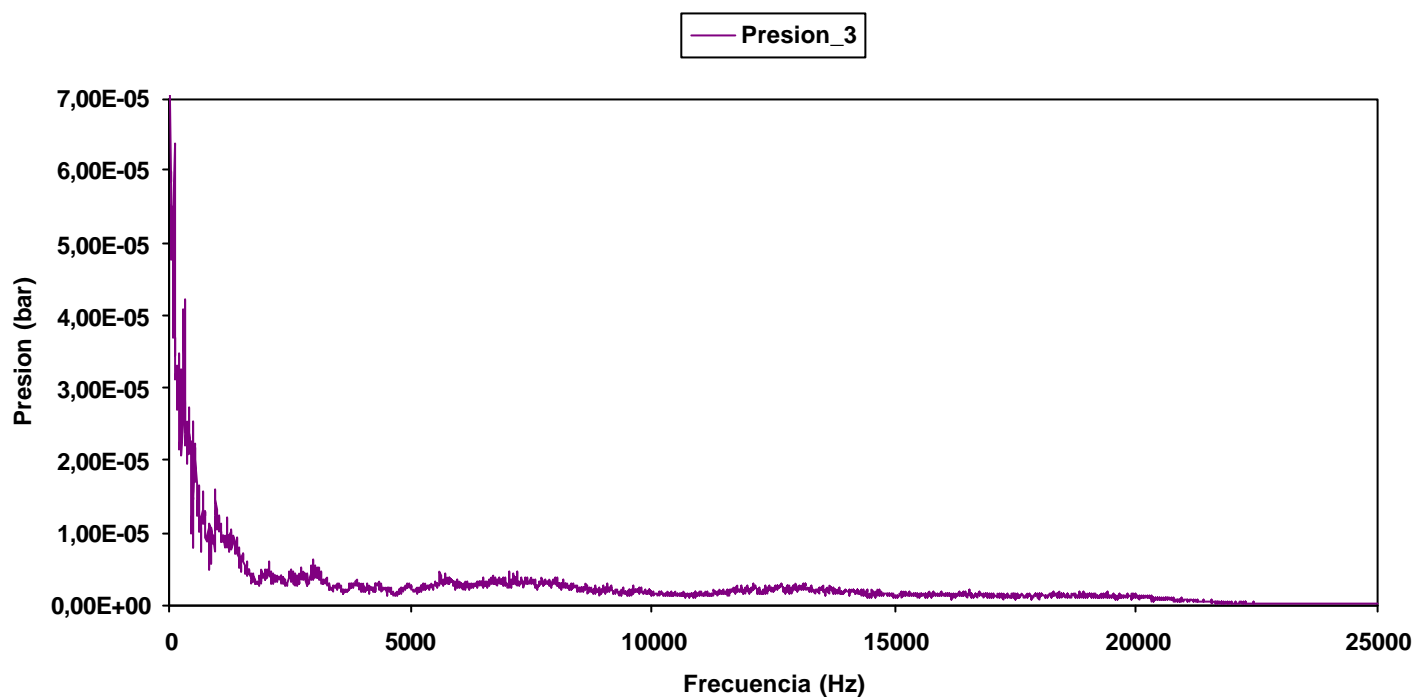
166_01.1(Presion_1)



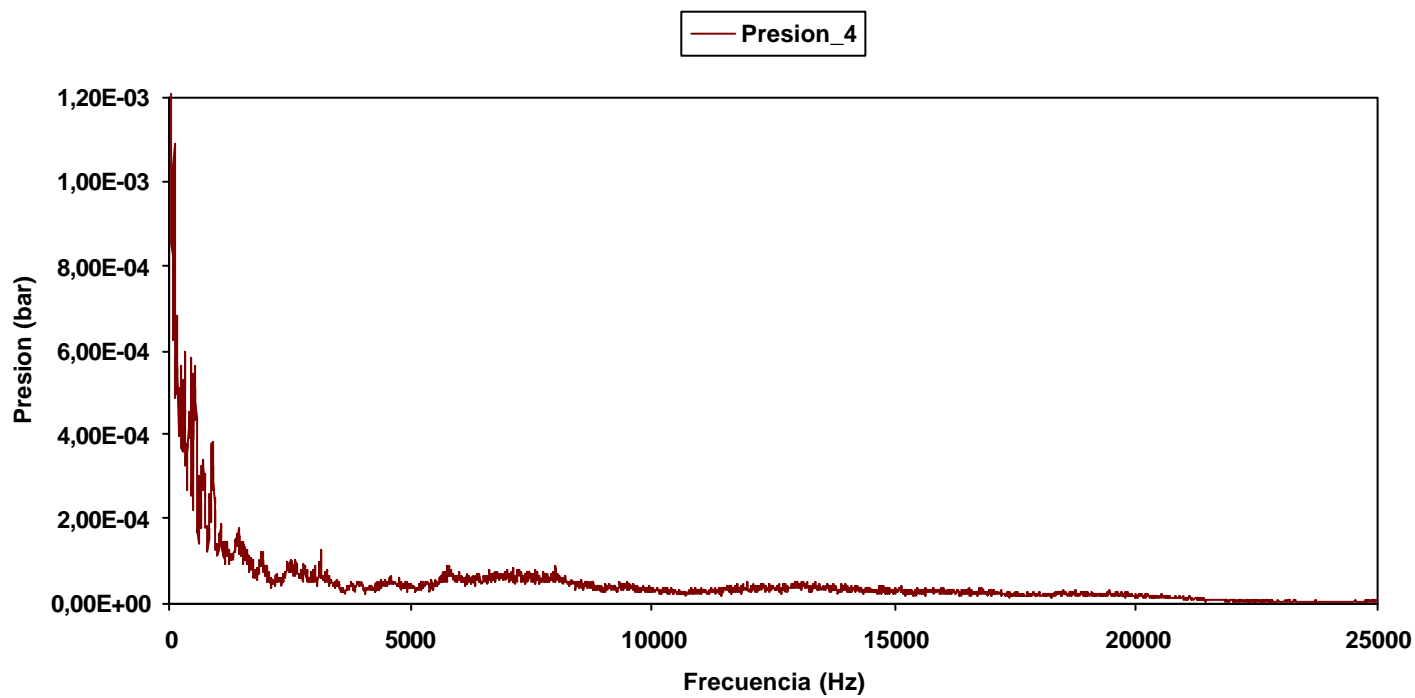
166_01.1(Presion_2)

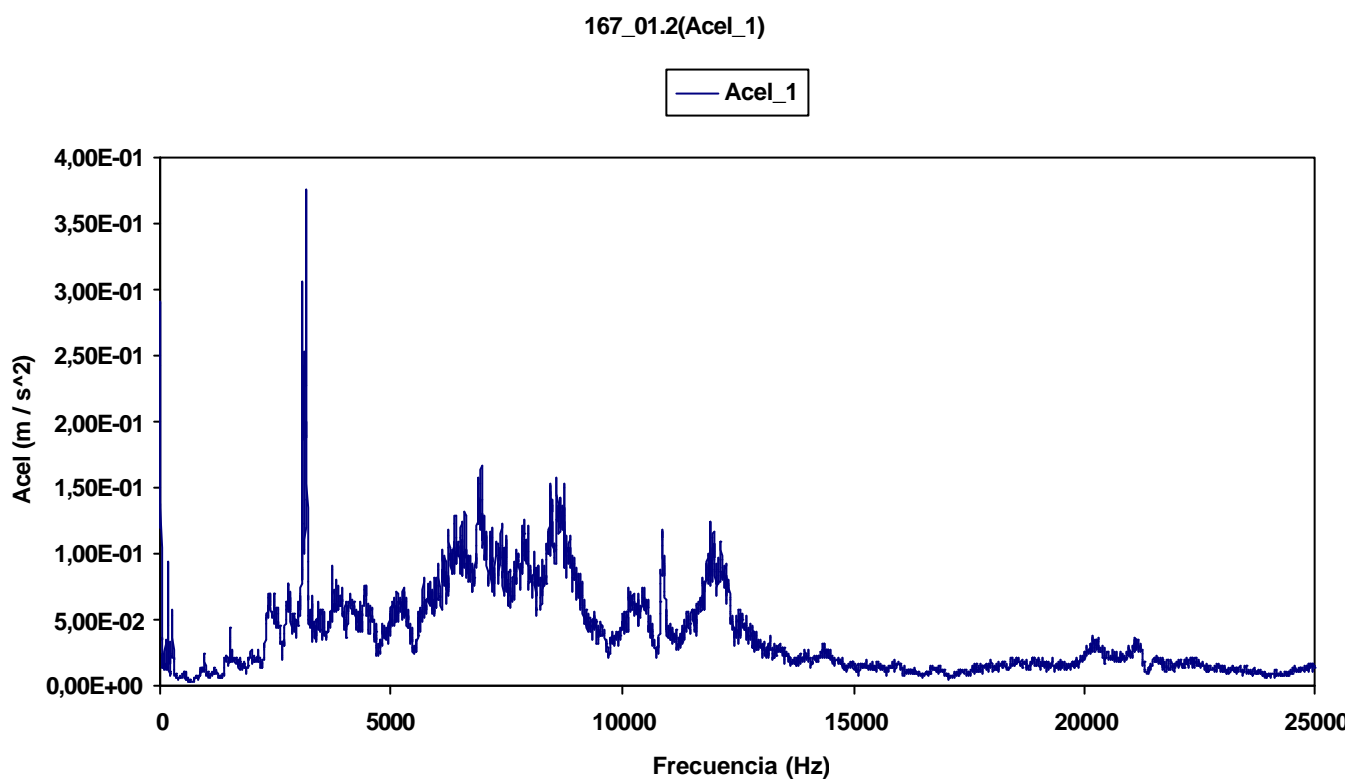


166_01.1(Presion_3)

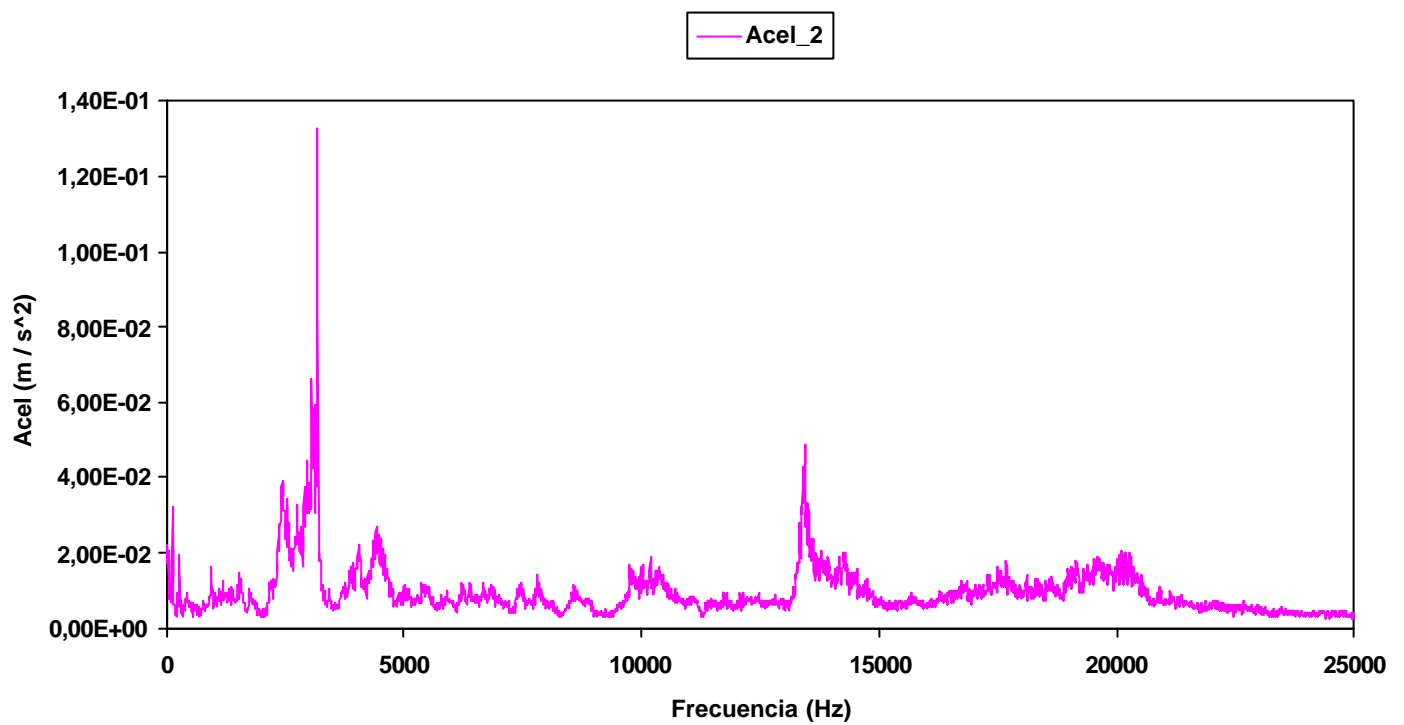


166_01.1(Presion_4)

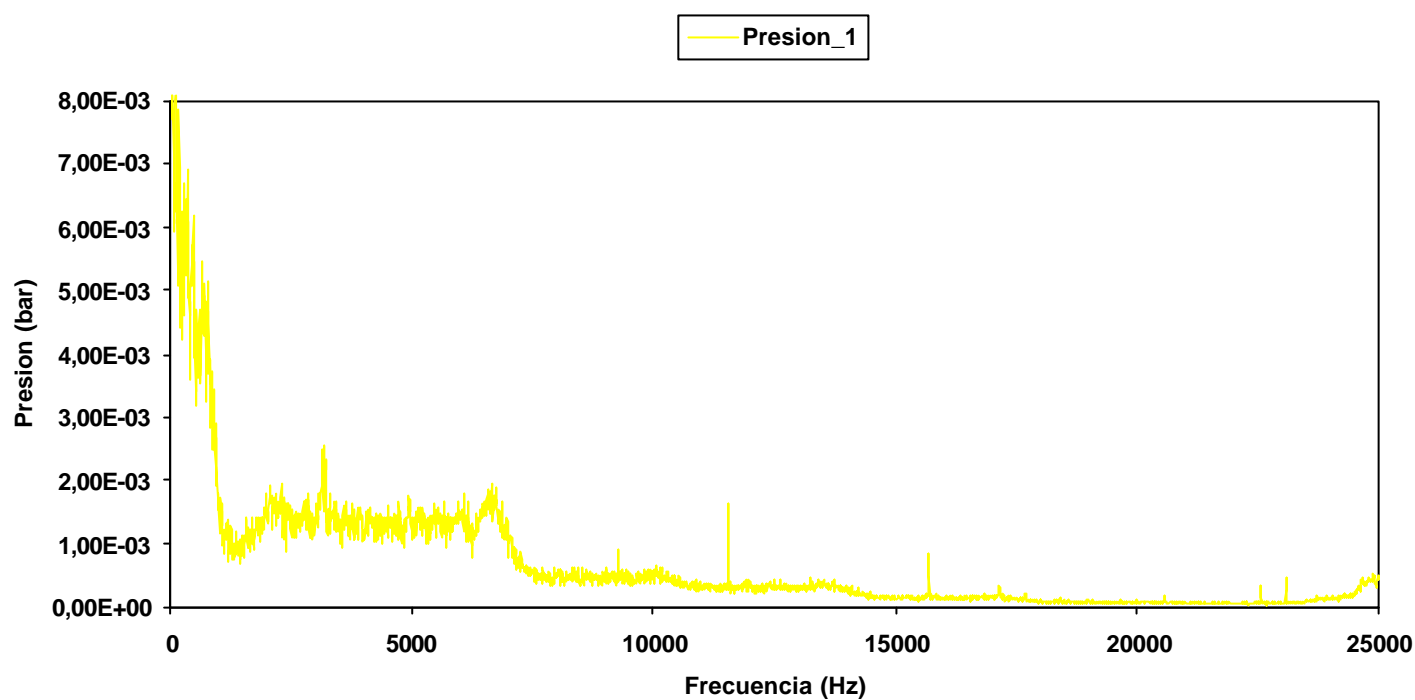


B.1.10. Punto de funcionamiento 167 (salida + Von Karman)

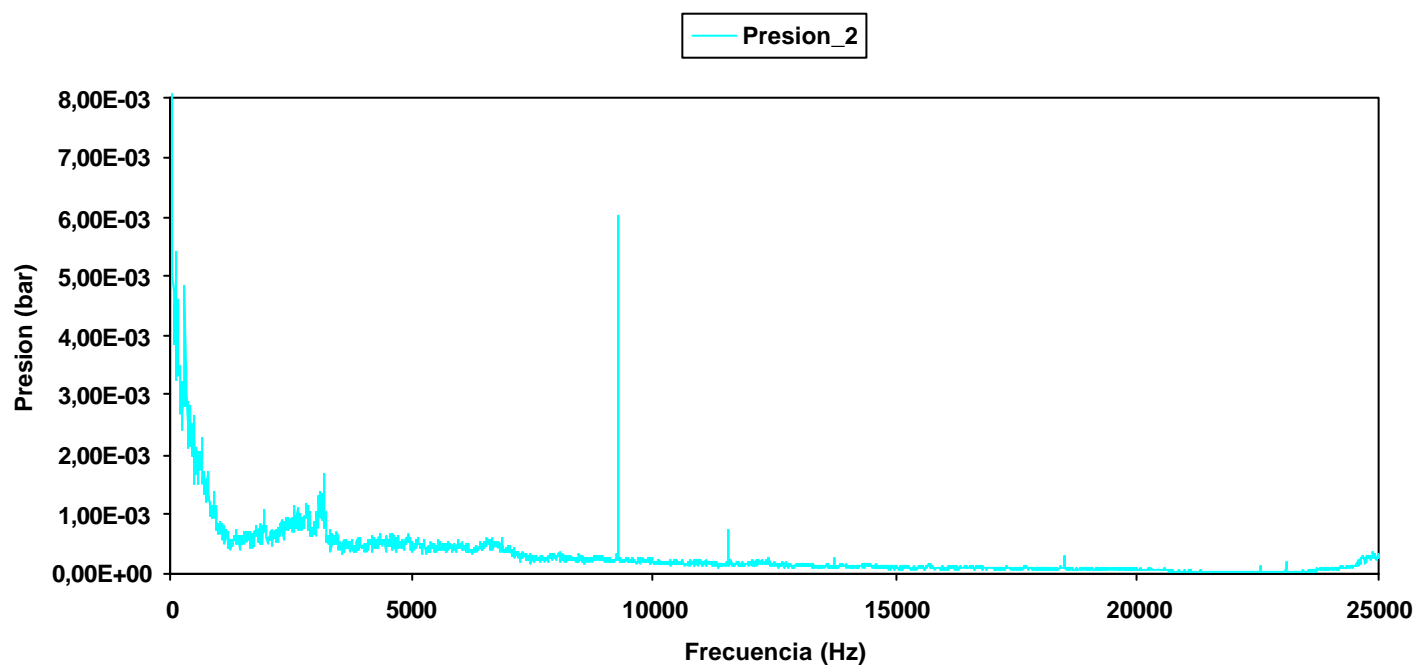
167_01.2(Acel_2)



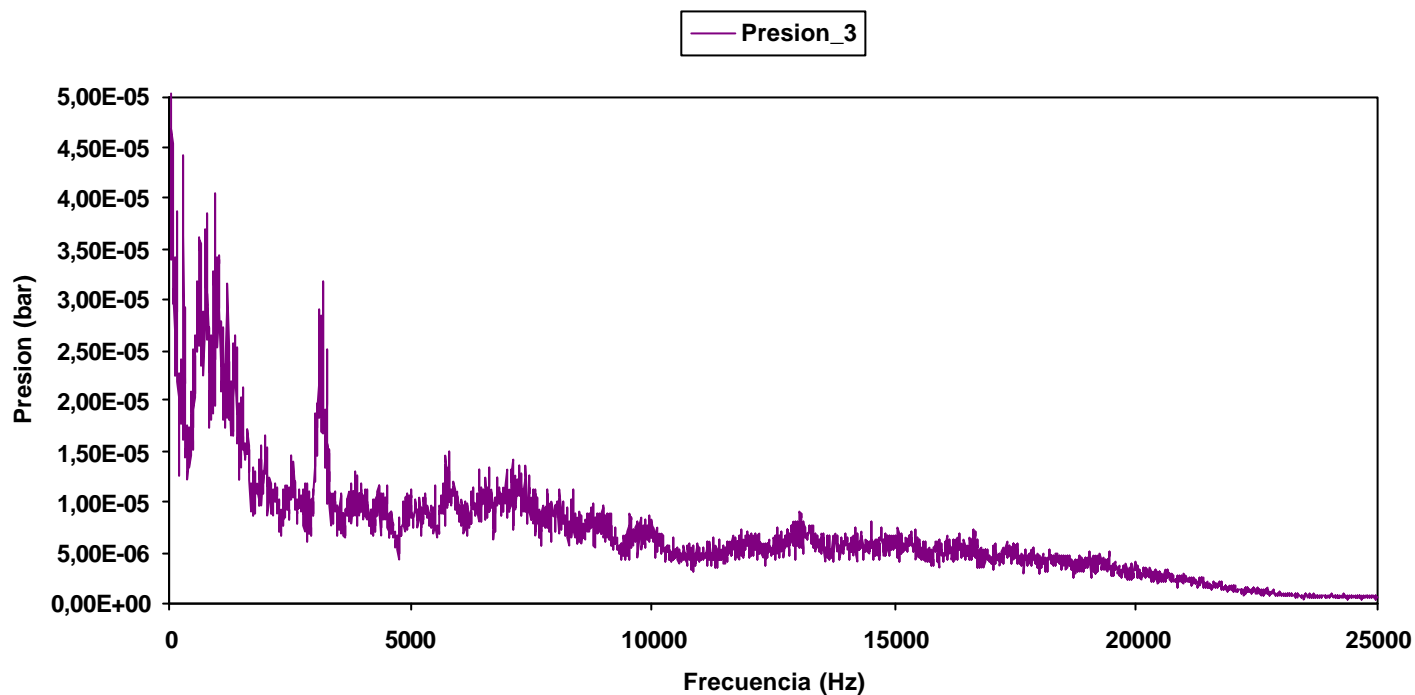
167_01.2(Presion_1)



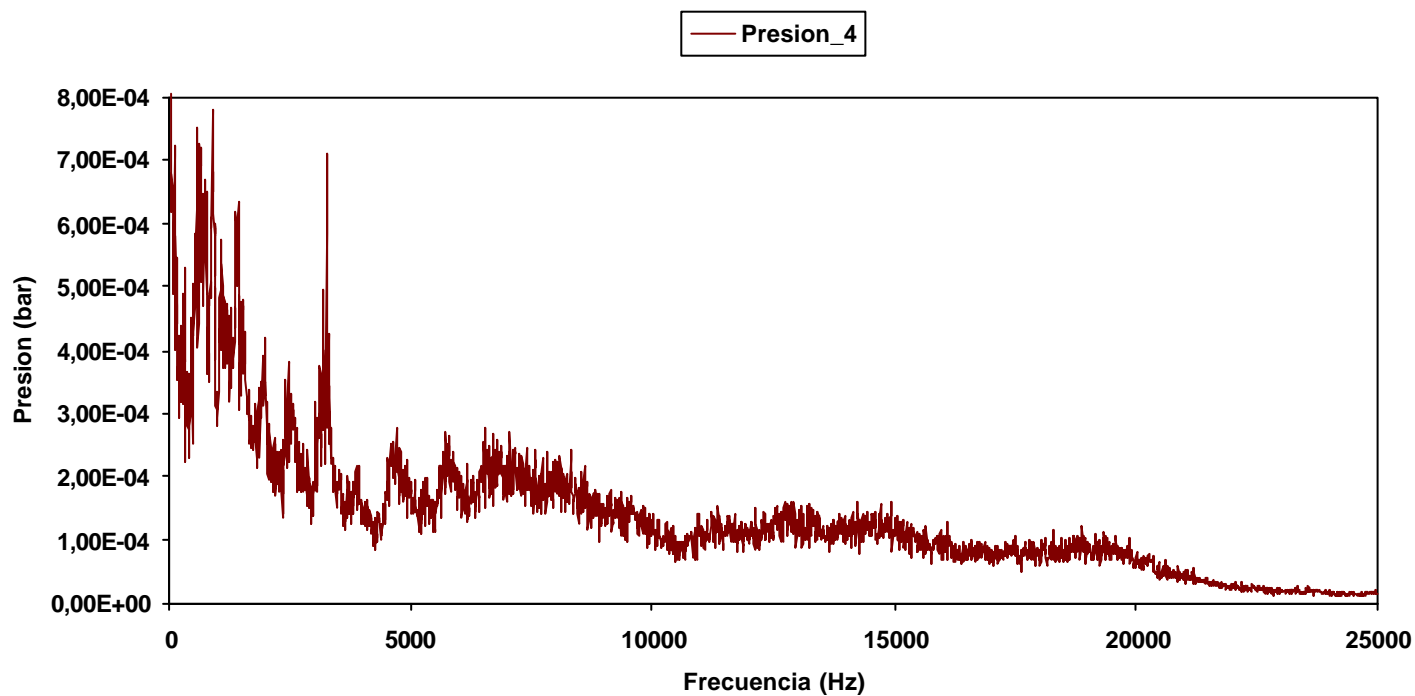
167_01.2(Presion_2)



167_01.2(Presion_3)



167_01.2(Presion_4)

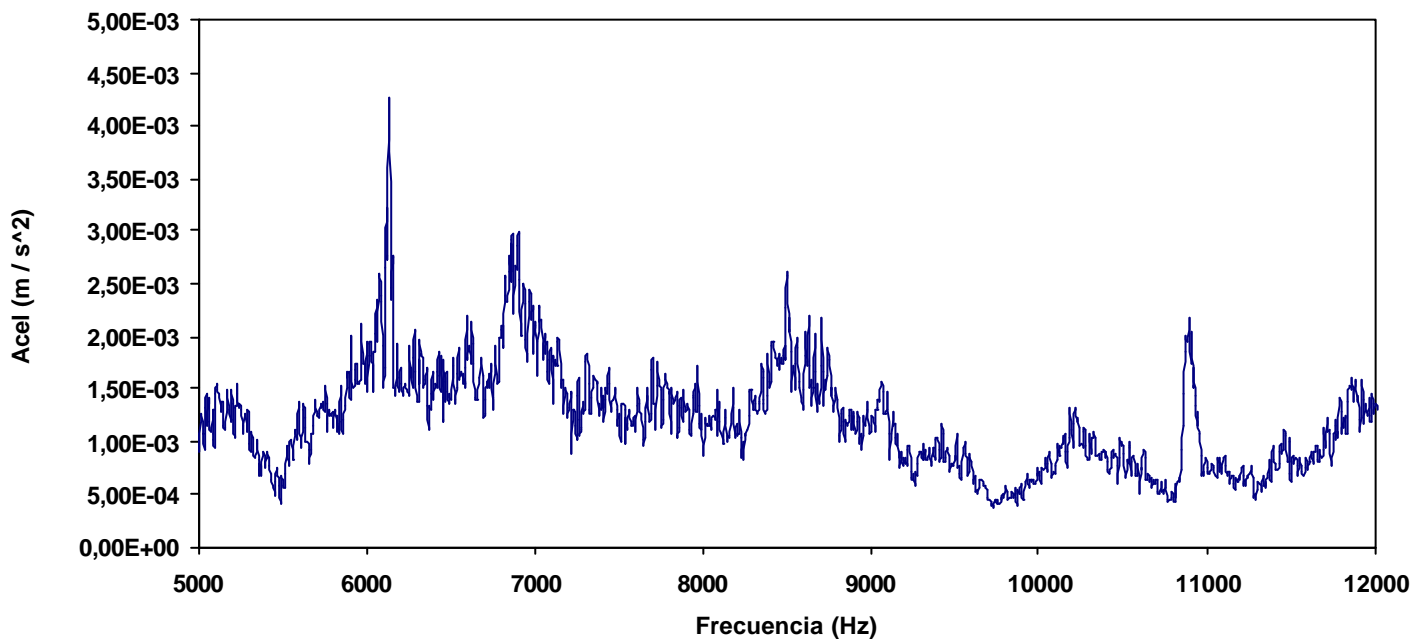


B.2. Ampliaciones (algunas gráficas al detalle)

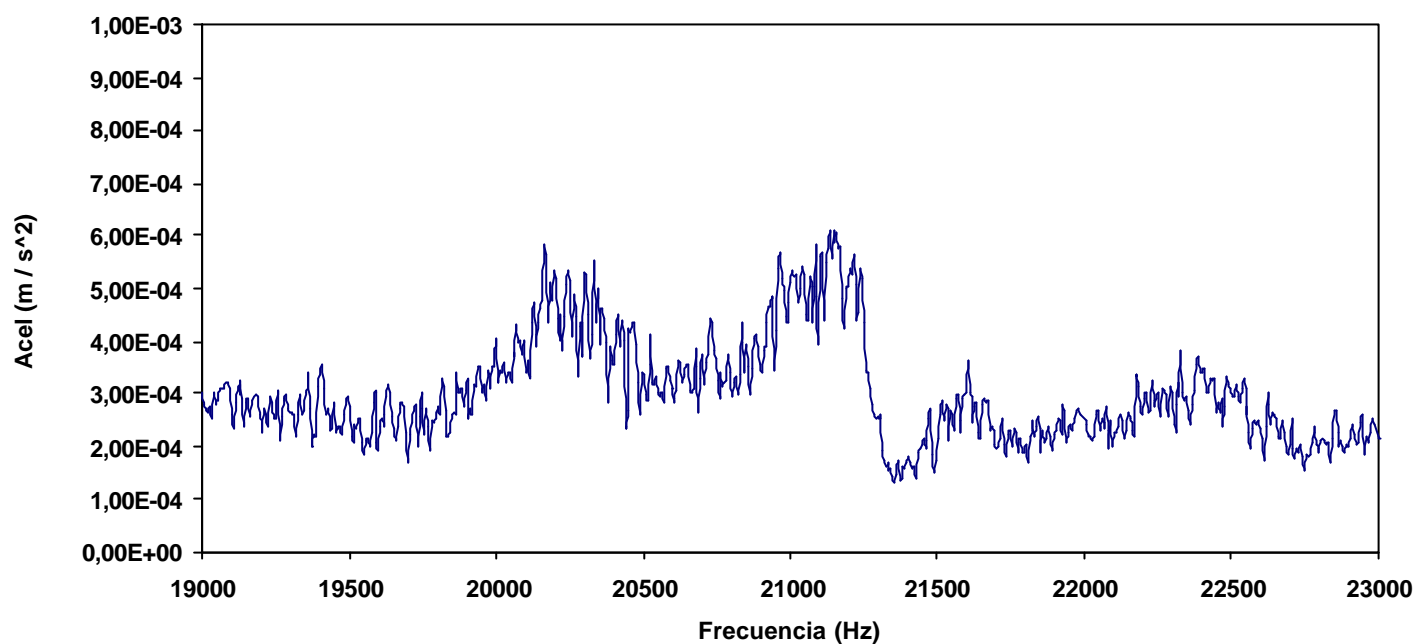
A continuación, diferentes frecuencias exploradas por su especial relevancia para el caso de ciertos puntos de funcionamiento.

Cada representación está bautizada por una serie de dígitos: el primer número hace referencia al punto de funcionamiento, seguido del instante elegido (en todos los casos es el primero de los diez posibles). Entre paréntesis, el acelerómetro o captador de presión correspondiente.

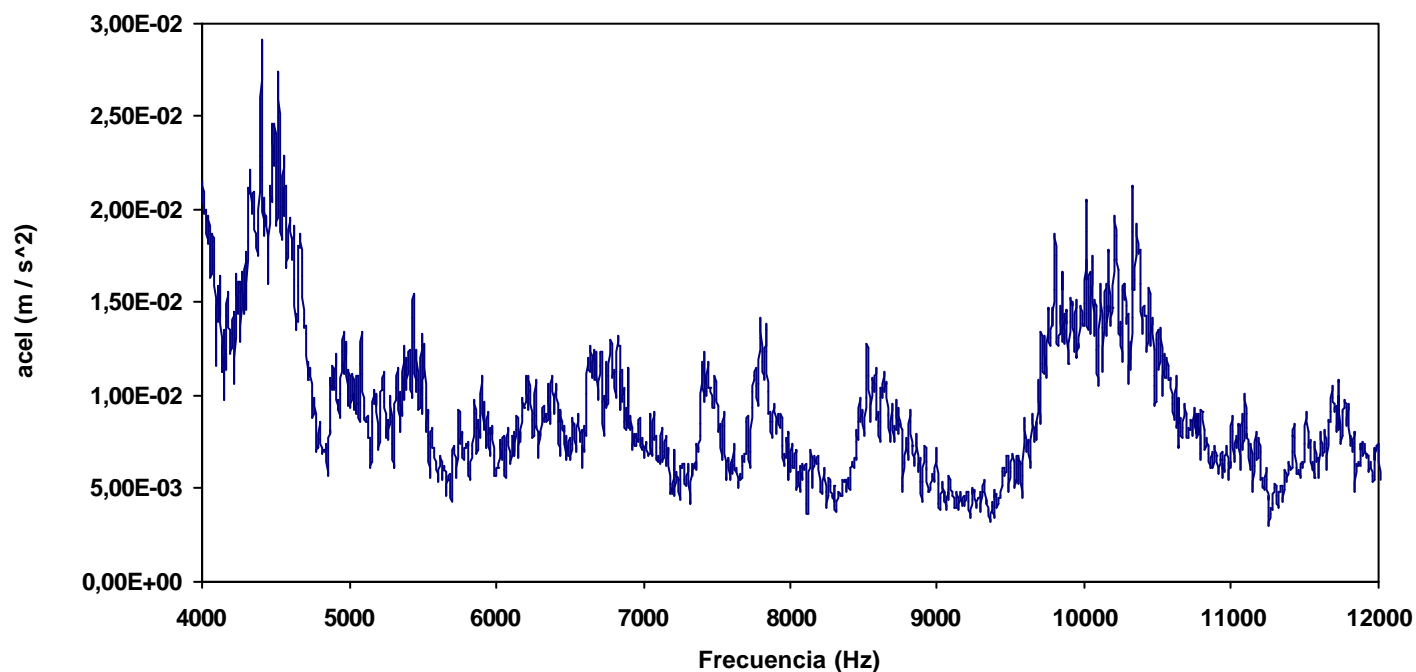
159_1.10 (Acel1)



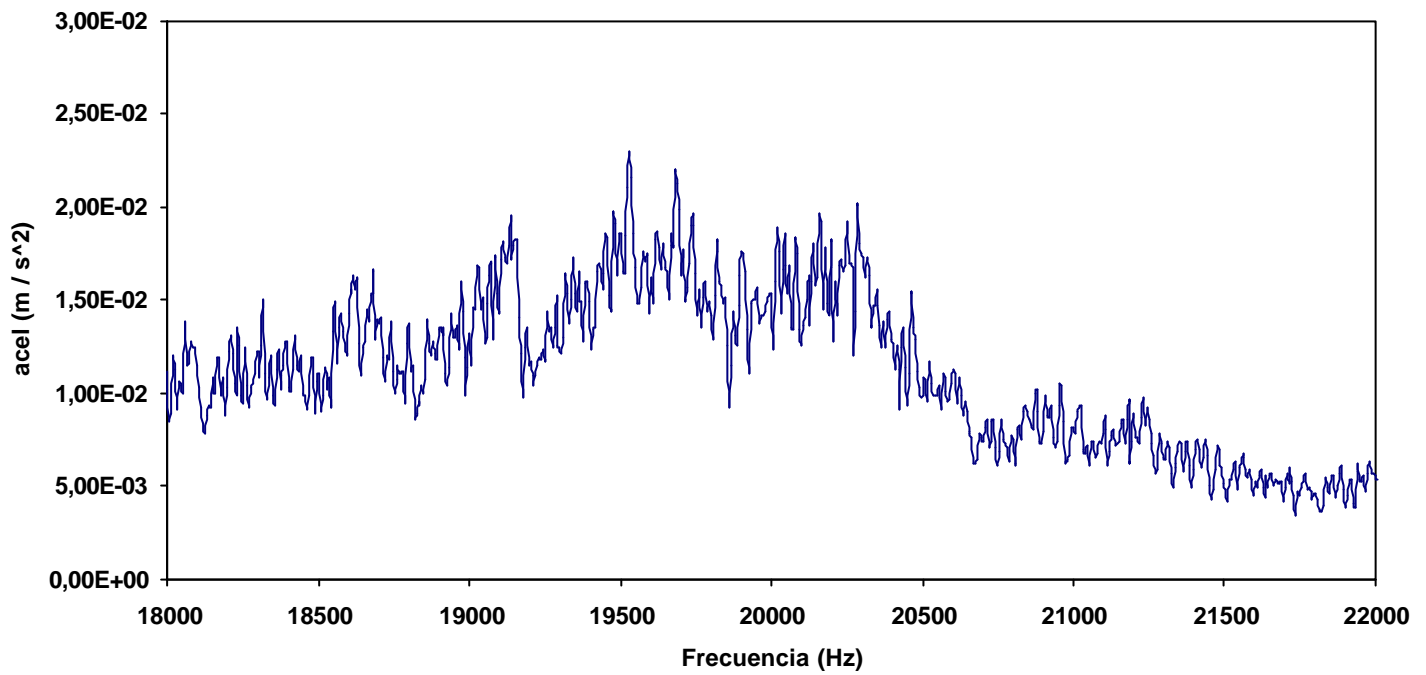
160_1.1 (Acel1)



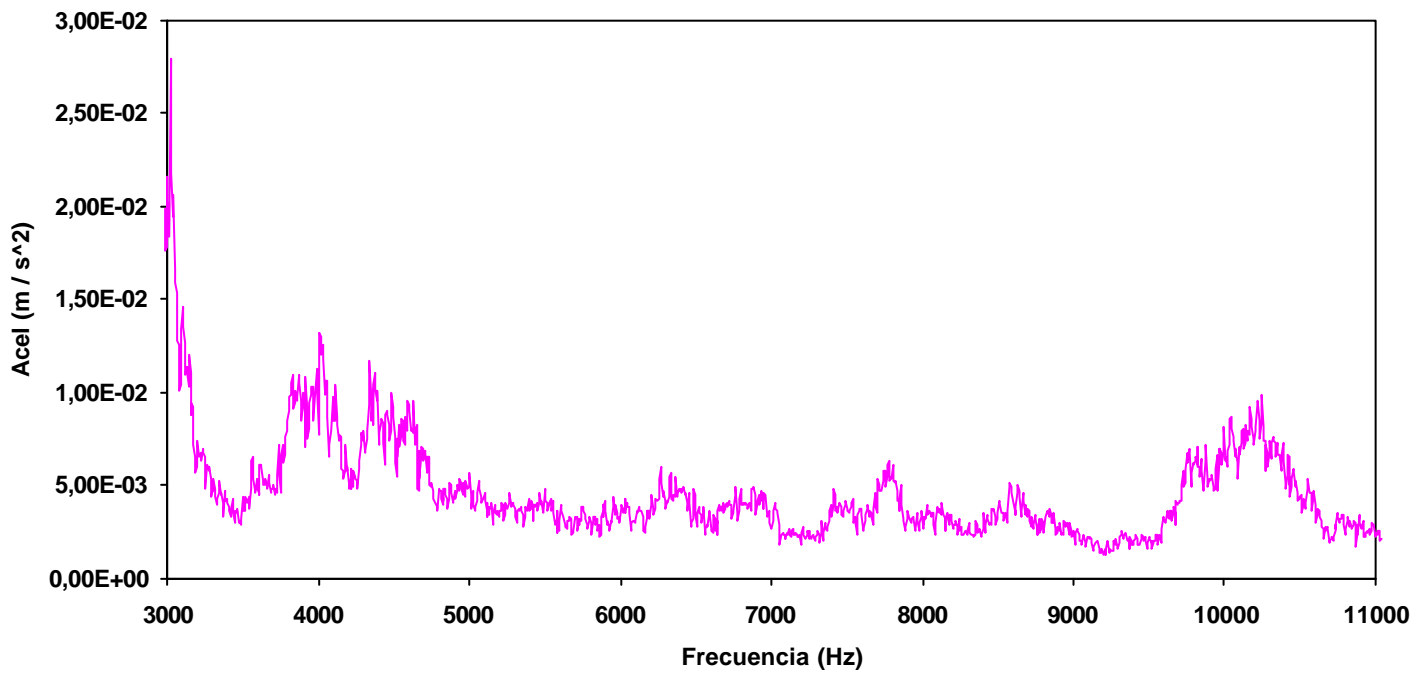
160_1.1 (Acel 2)



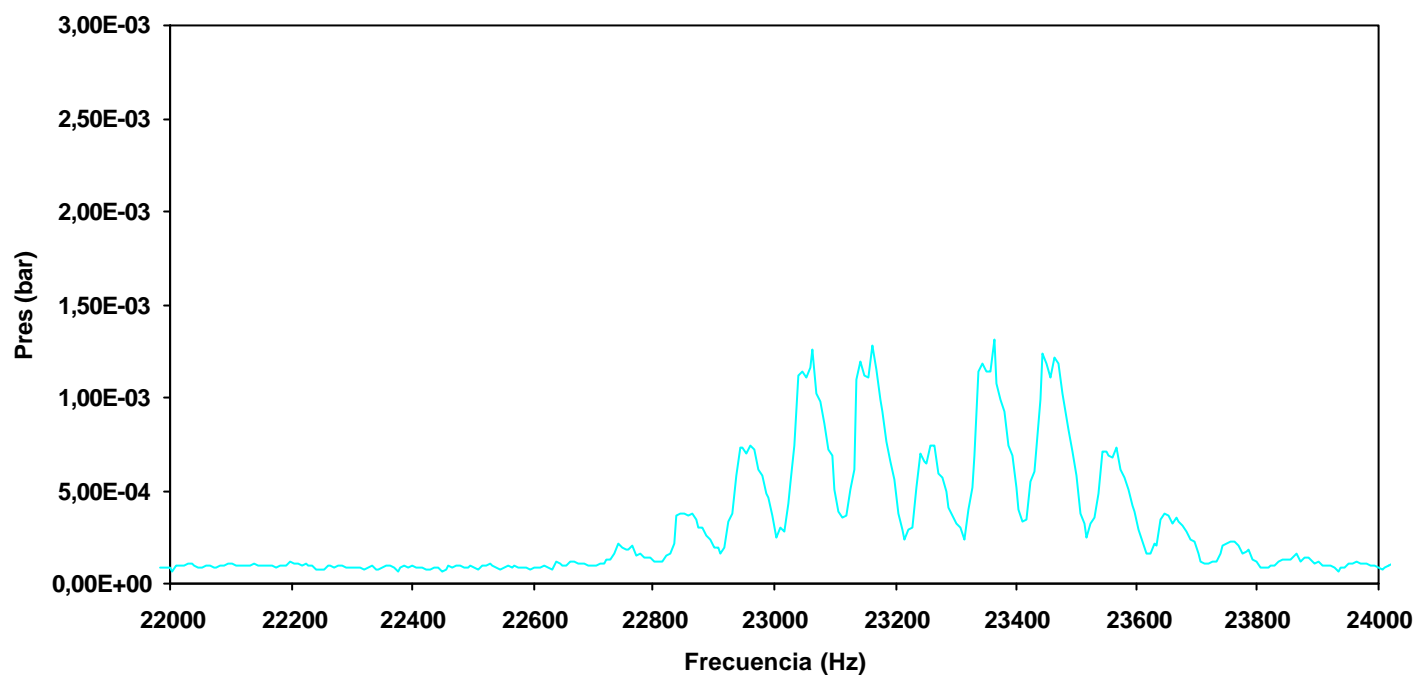
160_1.1 (Acel 2)



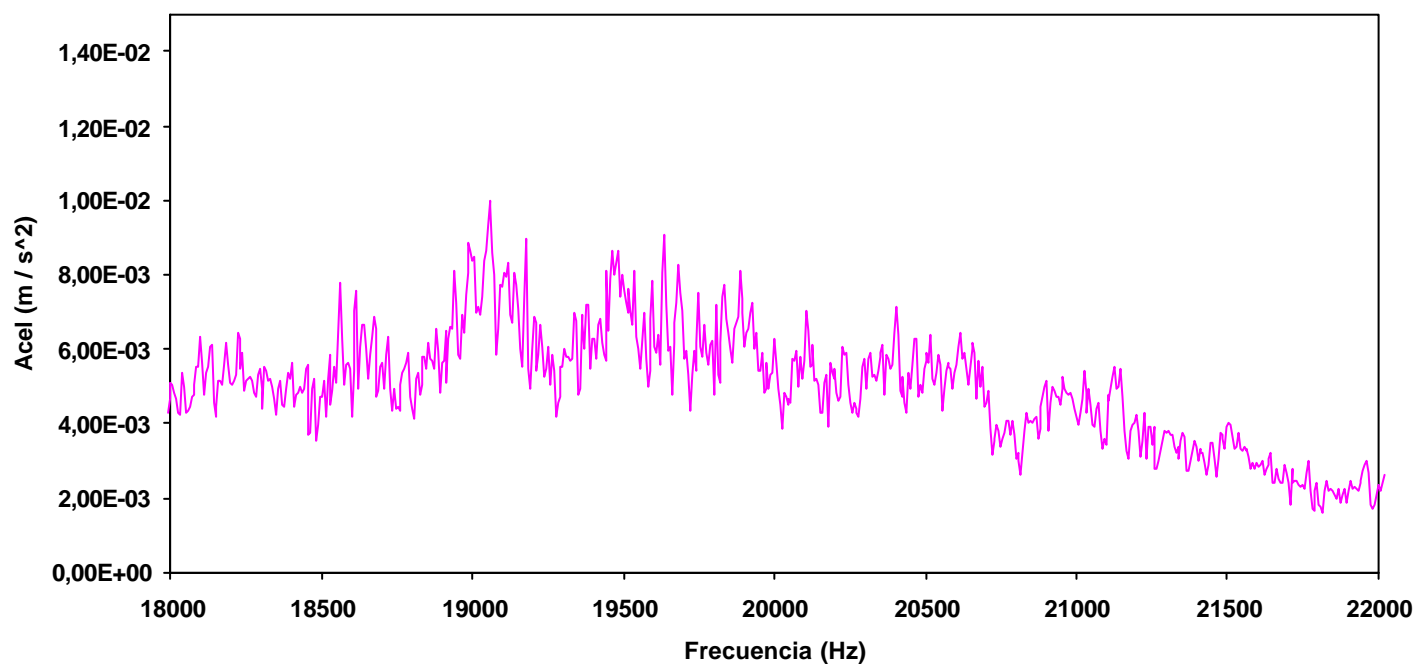
162_1.1 (Acel_2)



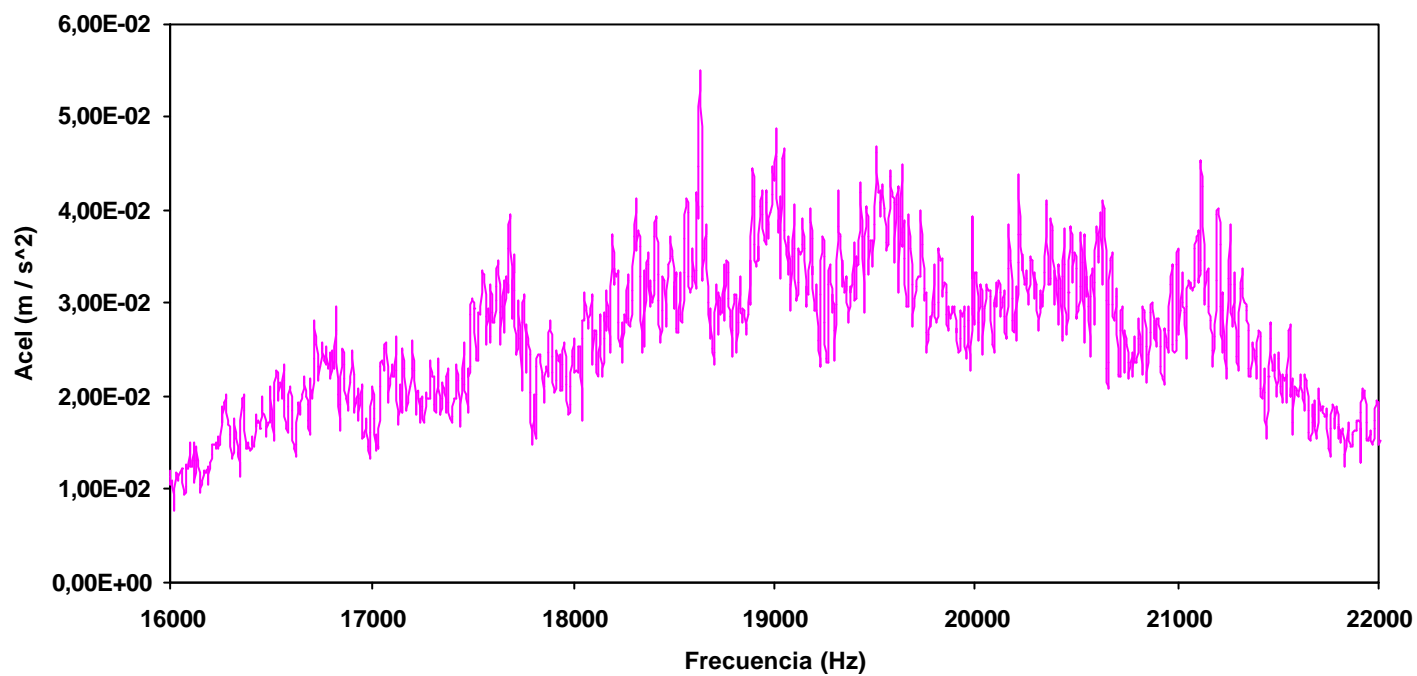
162_1.1 (Pres_2)



162_1.1 (Acel_2)

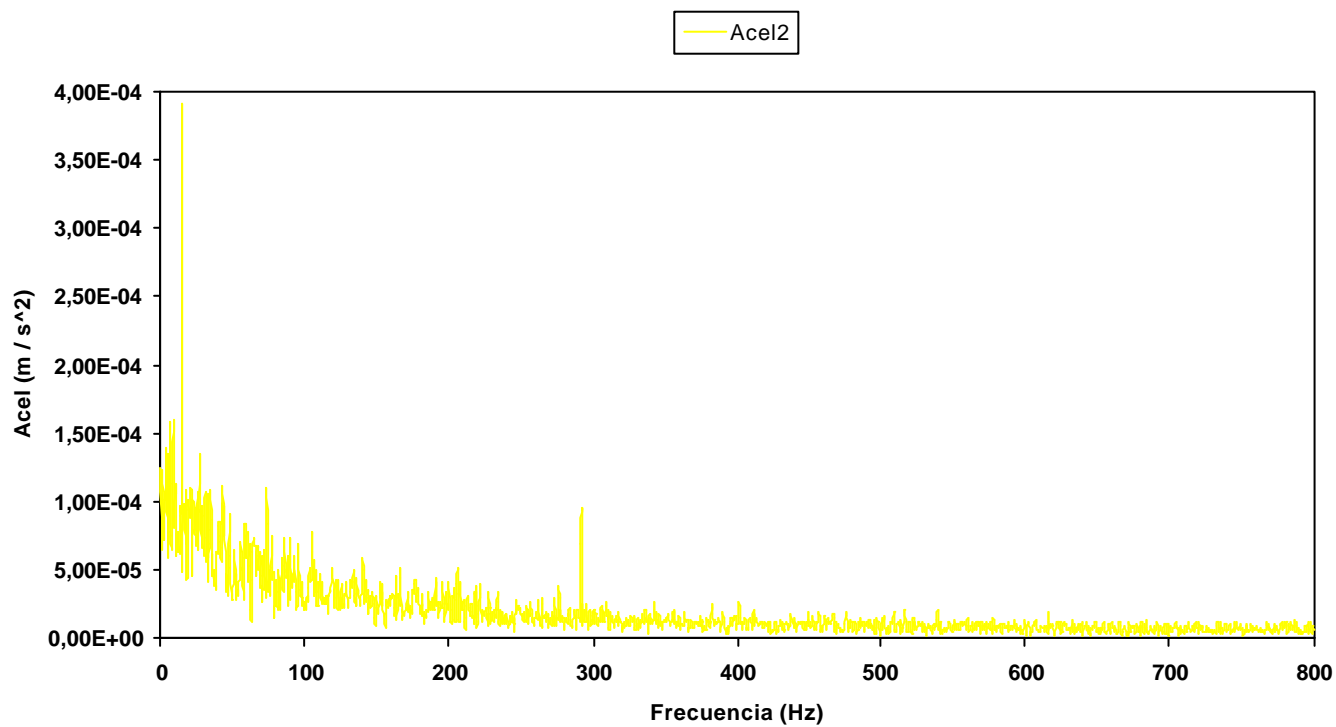
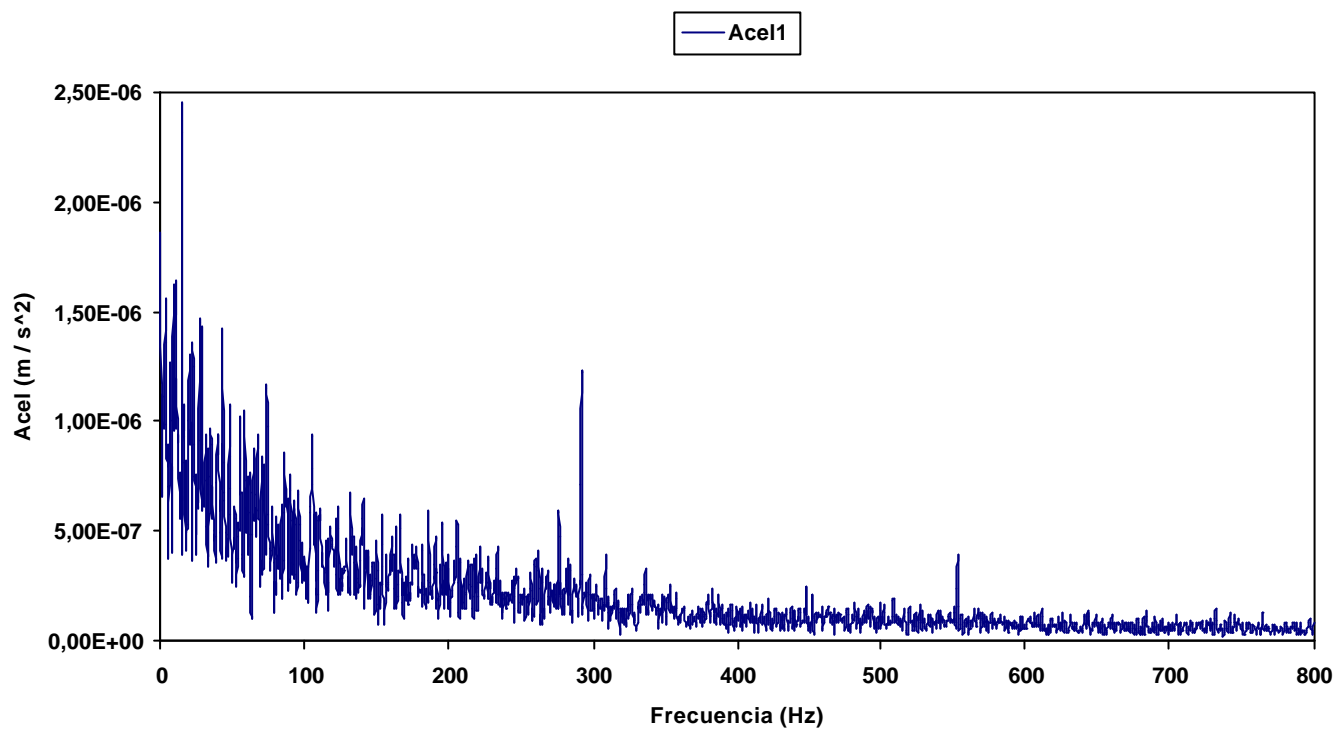


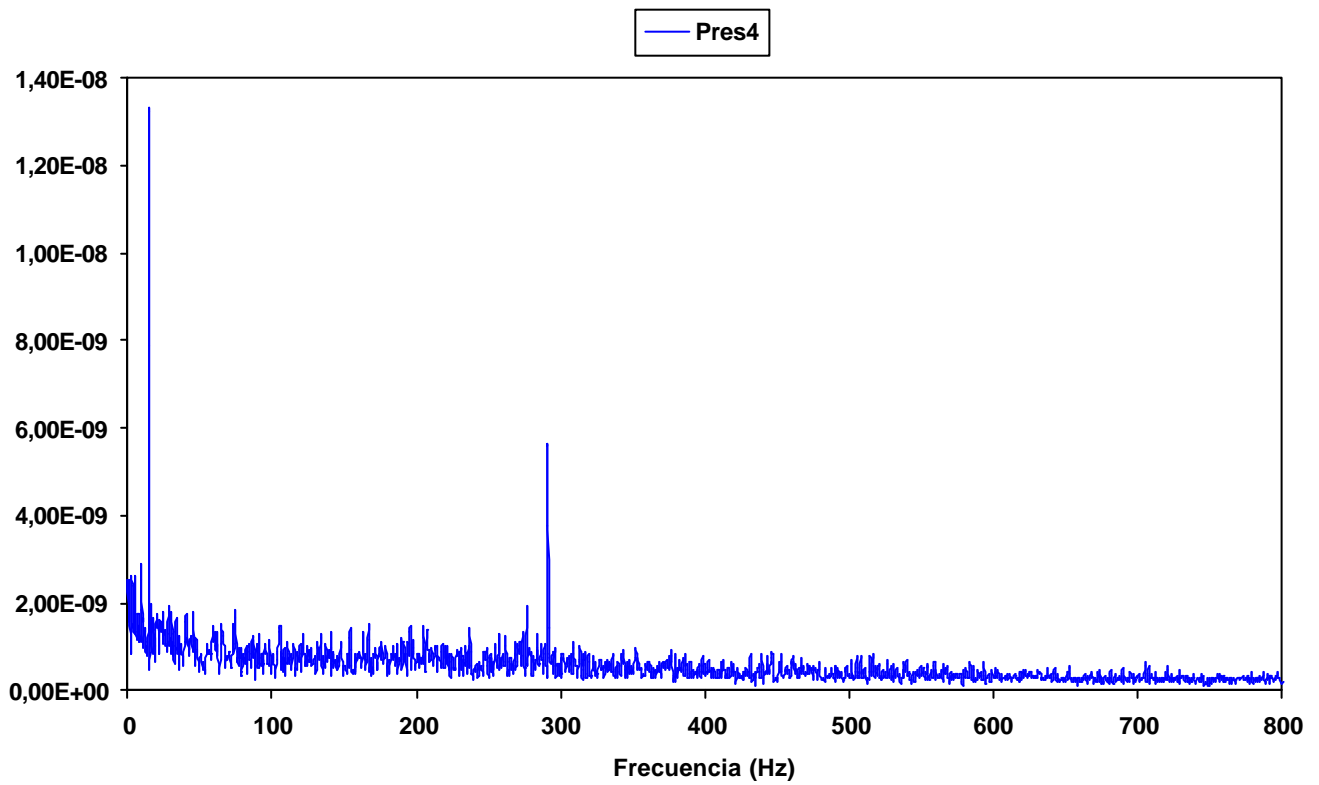
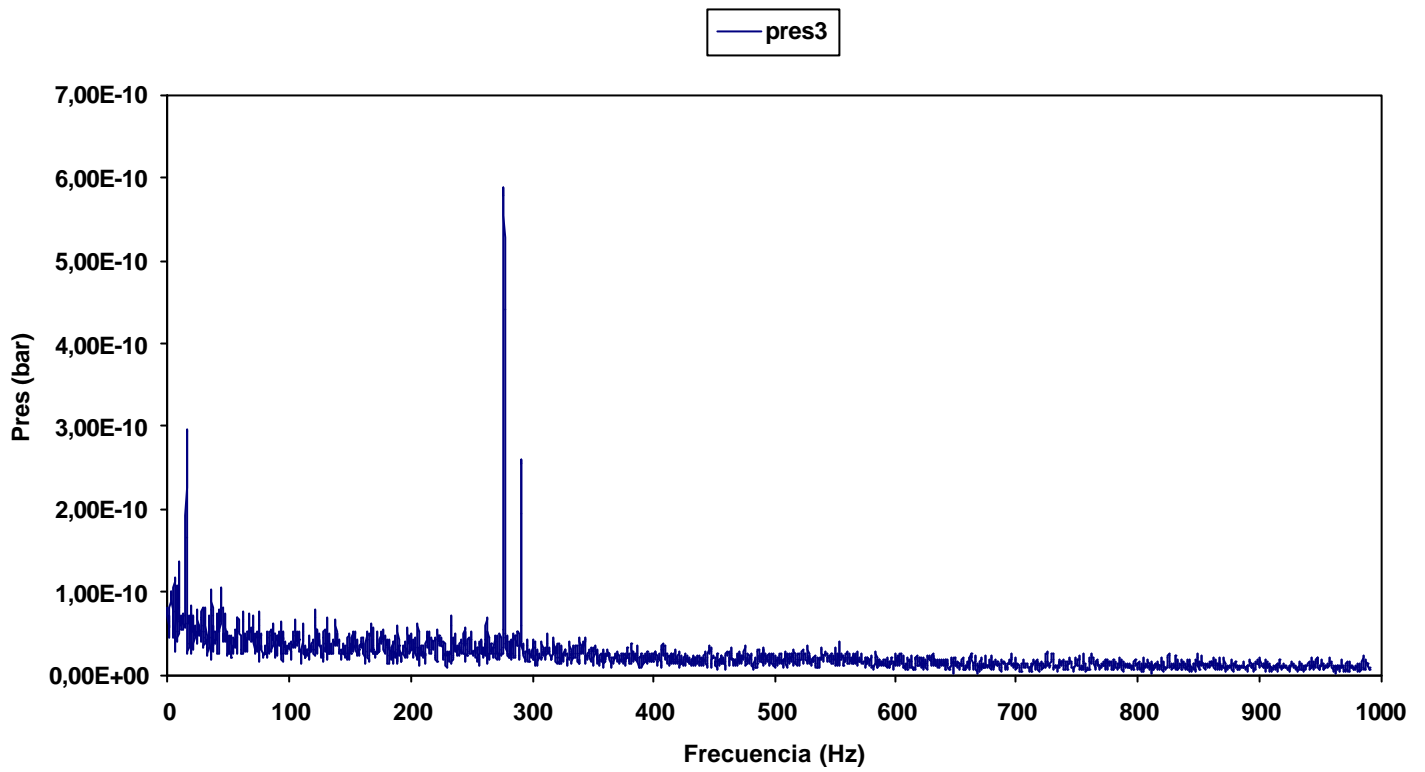
165_01.1 (Acel_2)

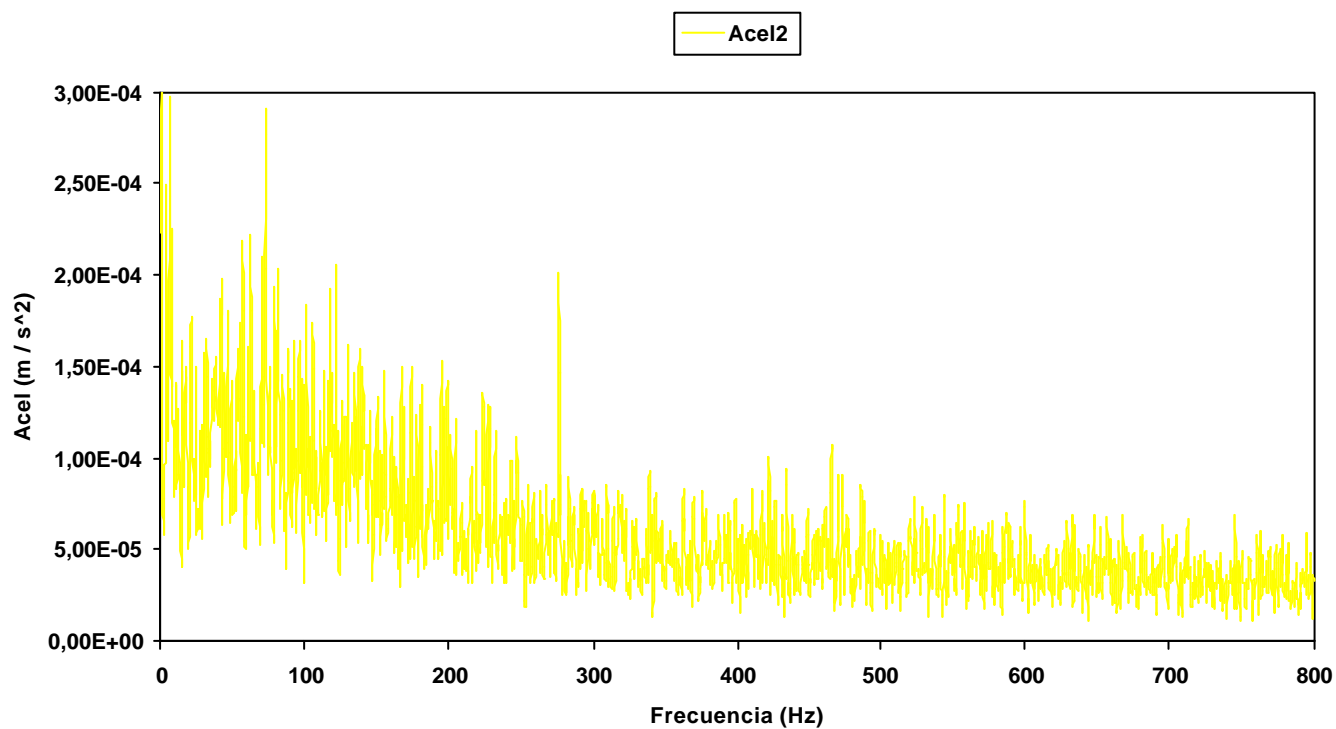
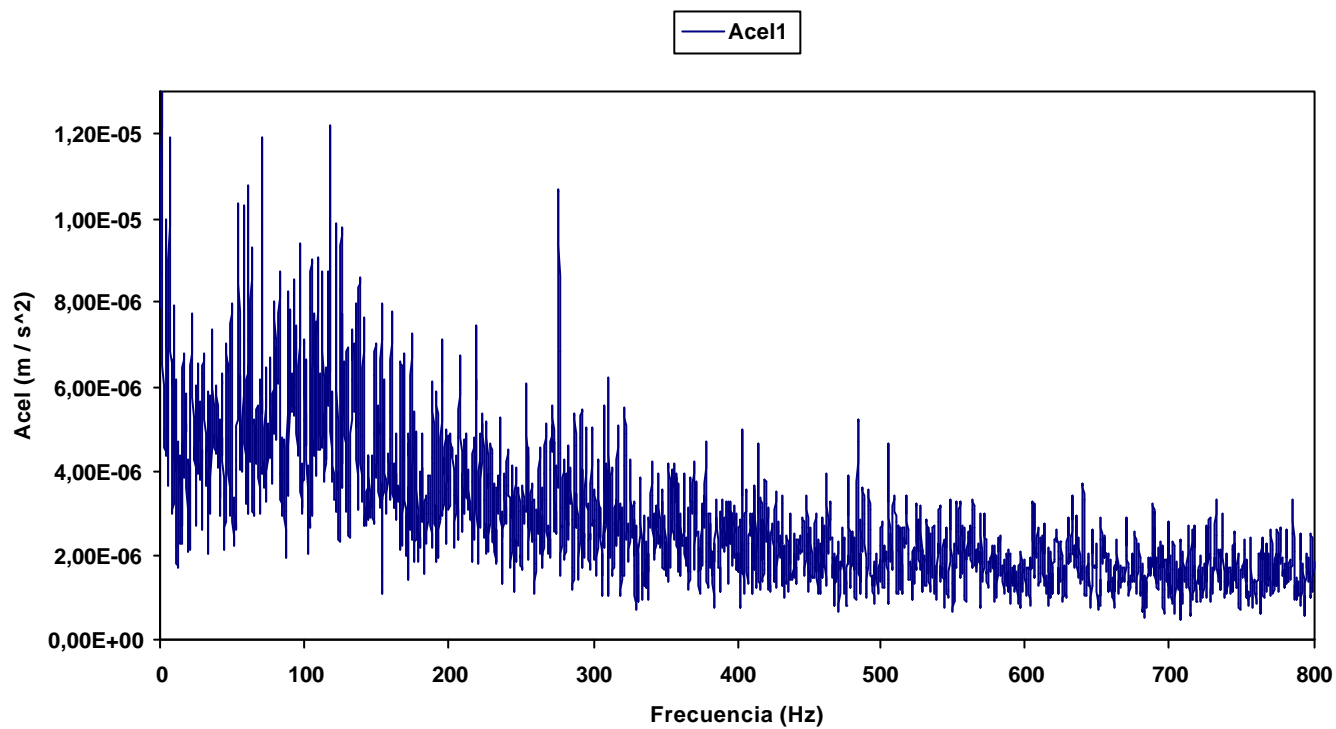


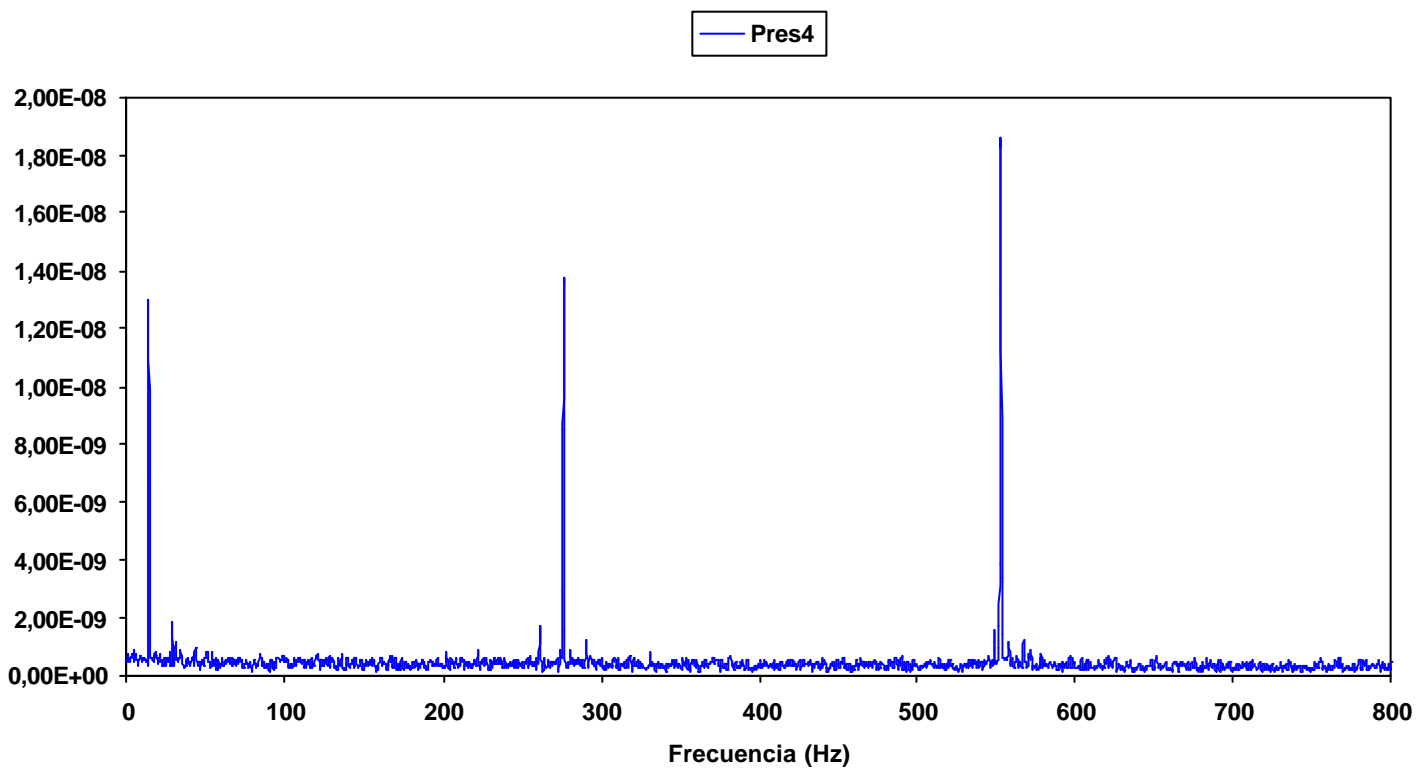
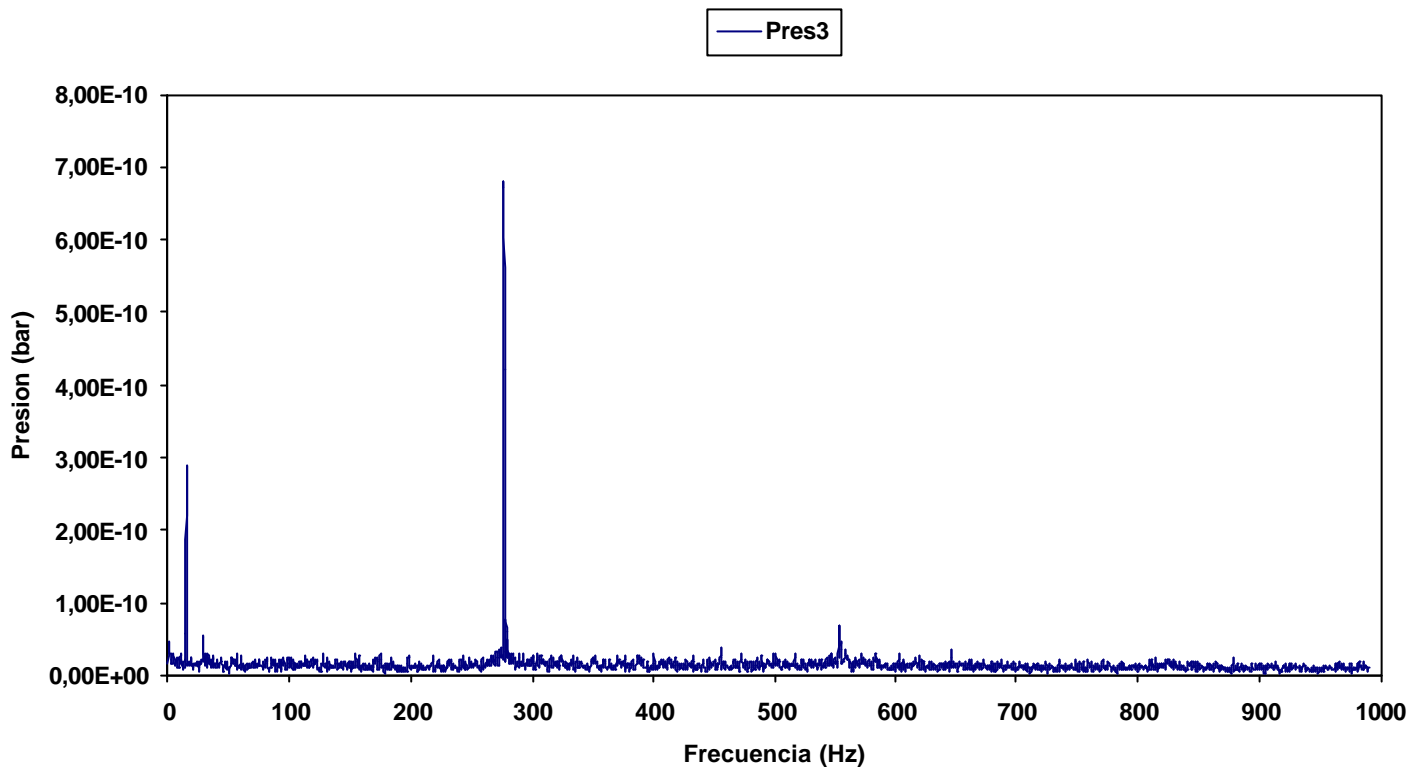
B.3. Gráficas para la demodulación

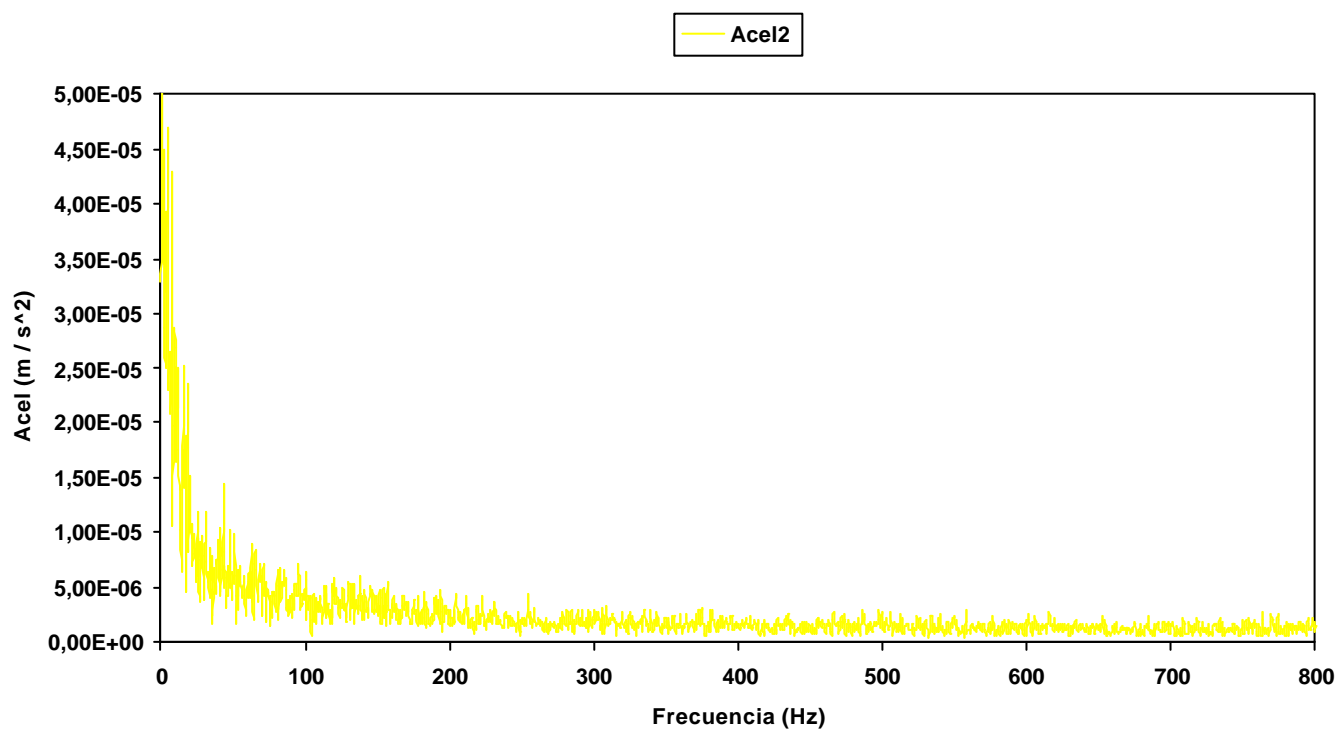
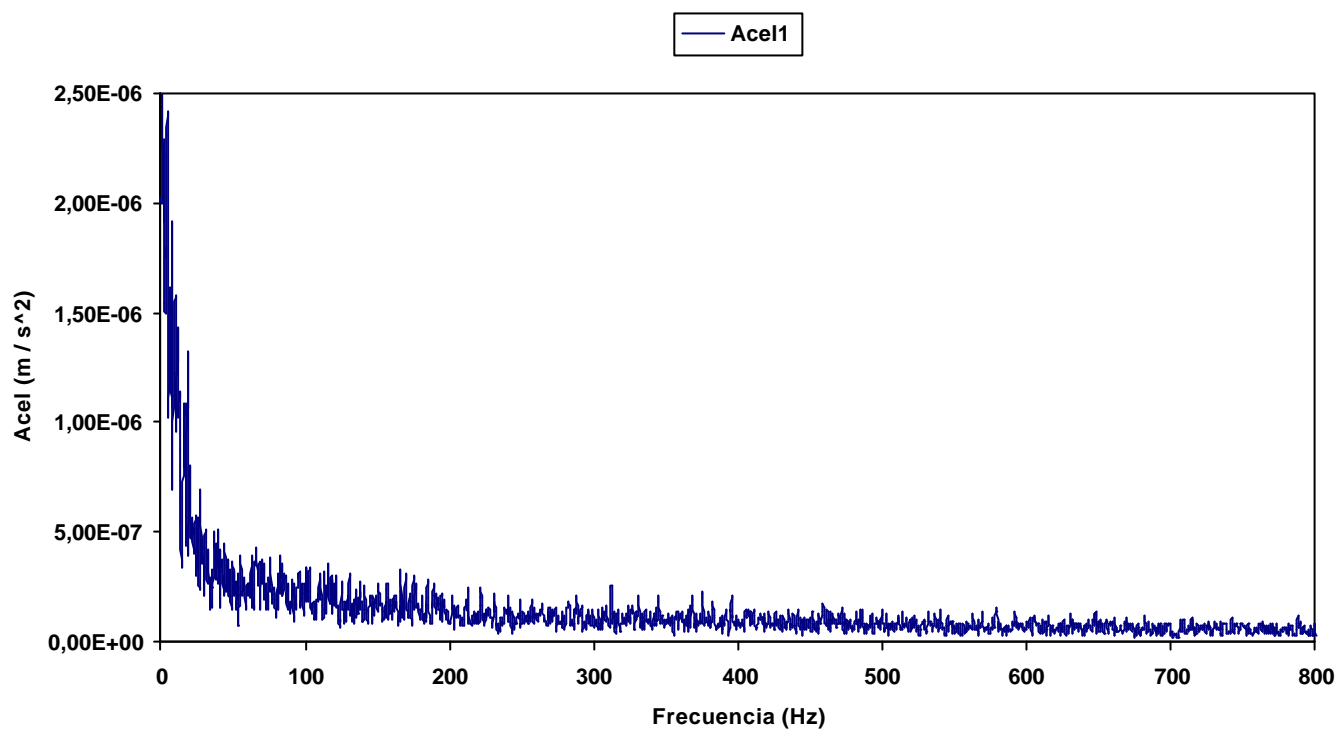
B.3.1. Punto de funcionamiento 160 (salida + Von Karman)

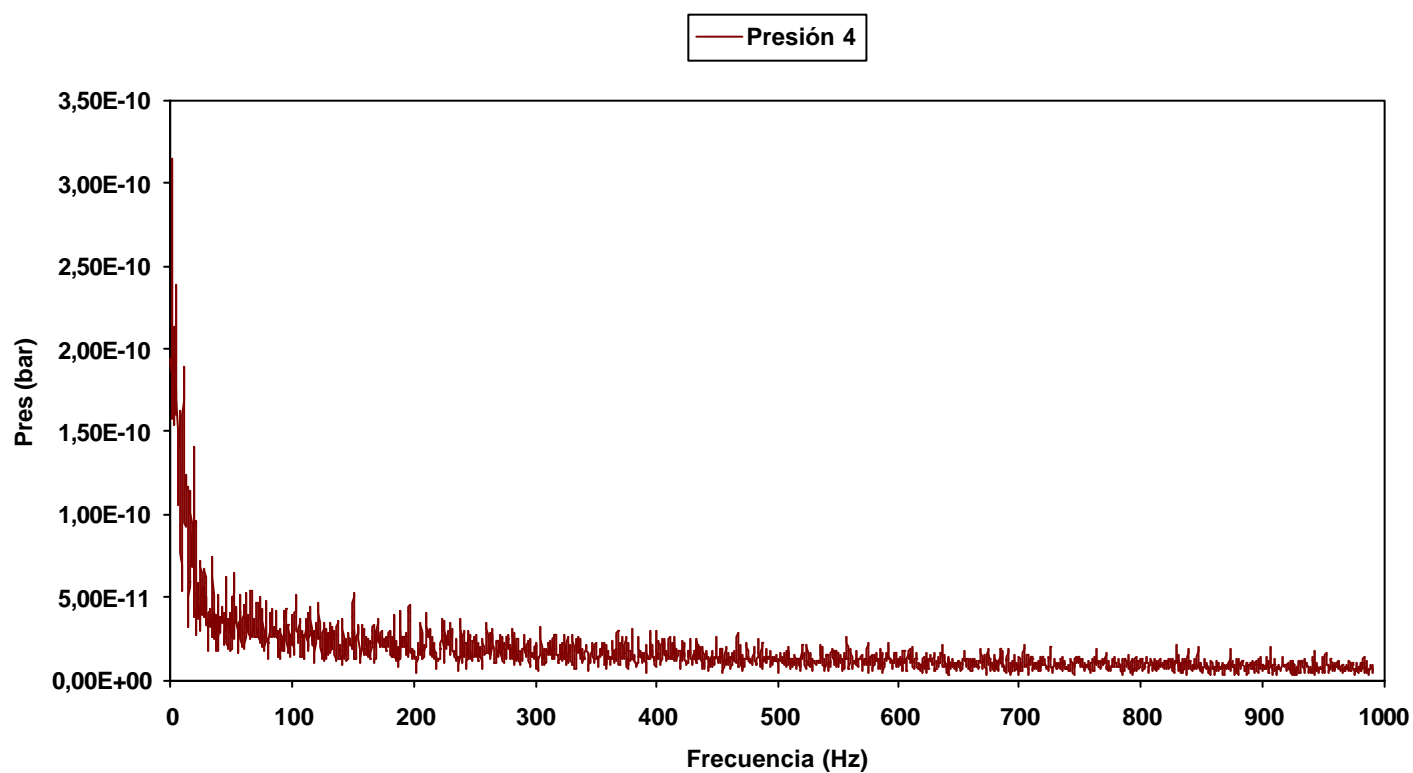
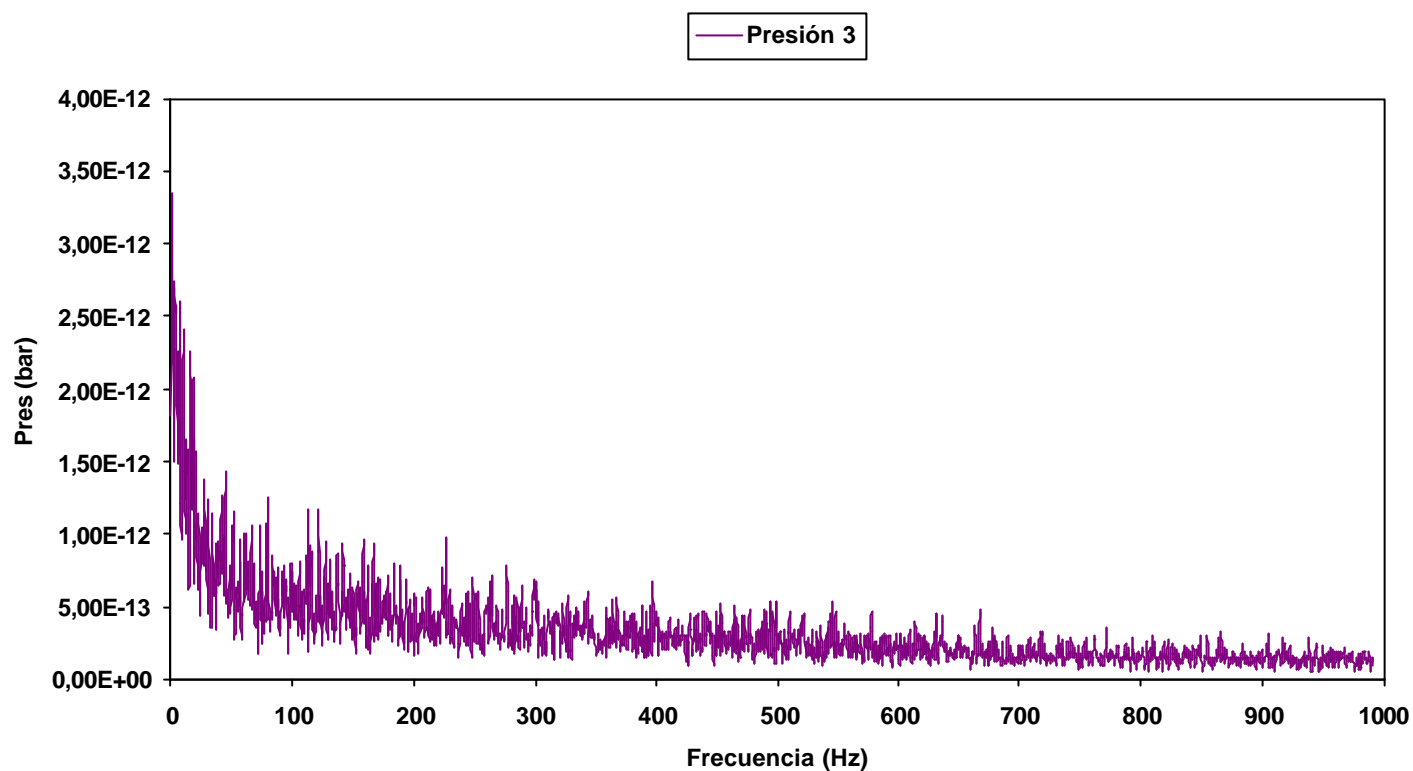


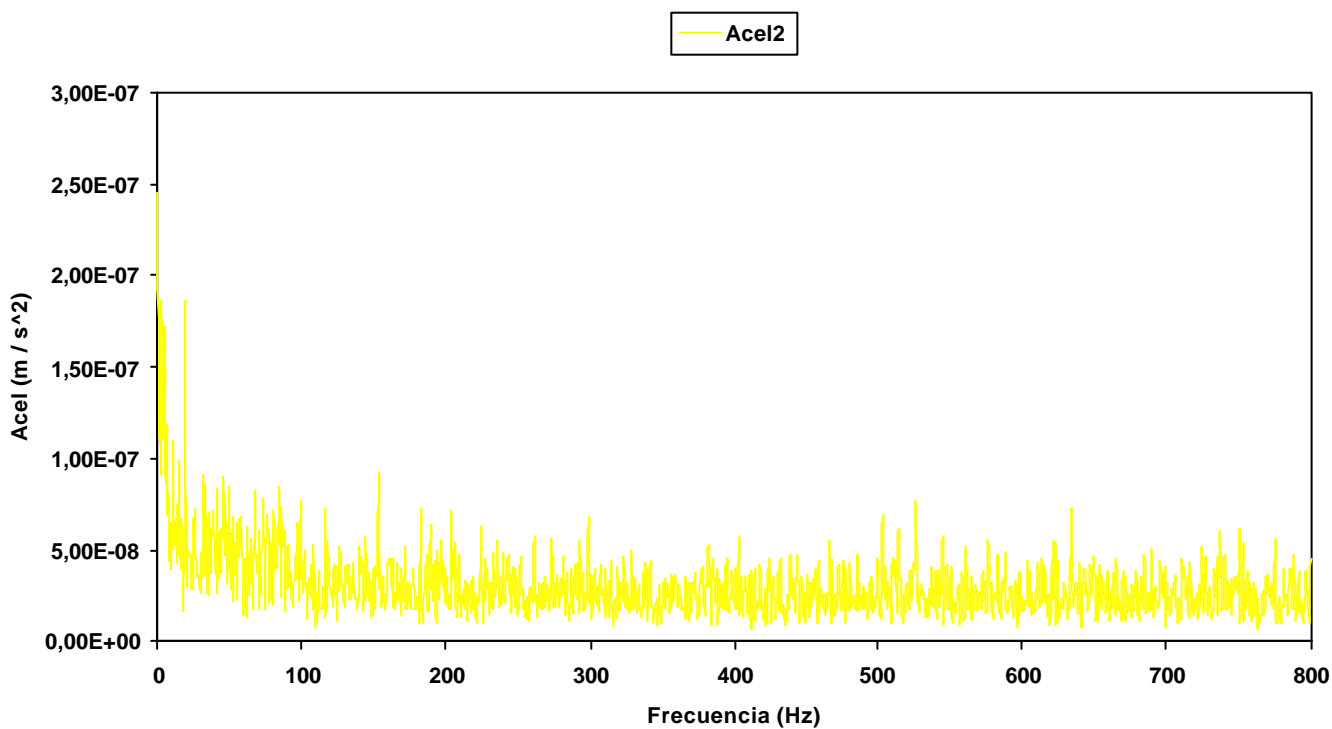
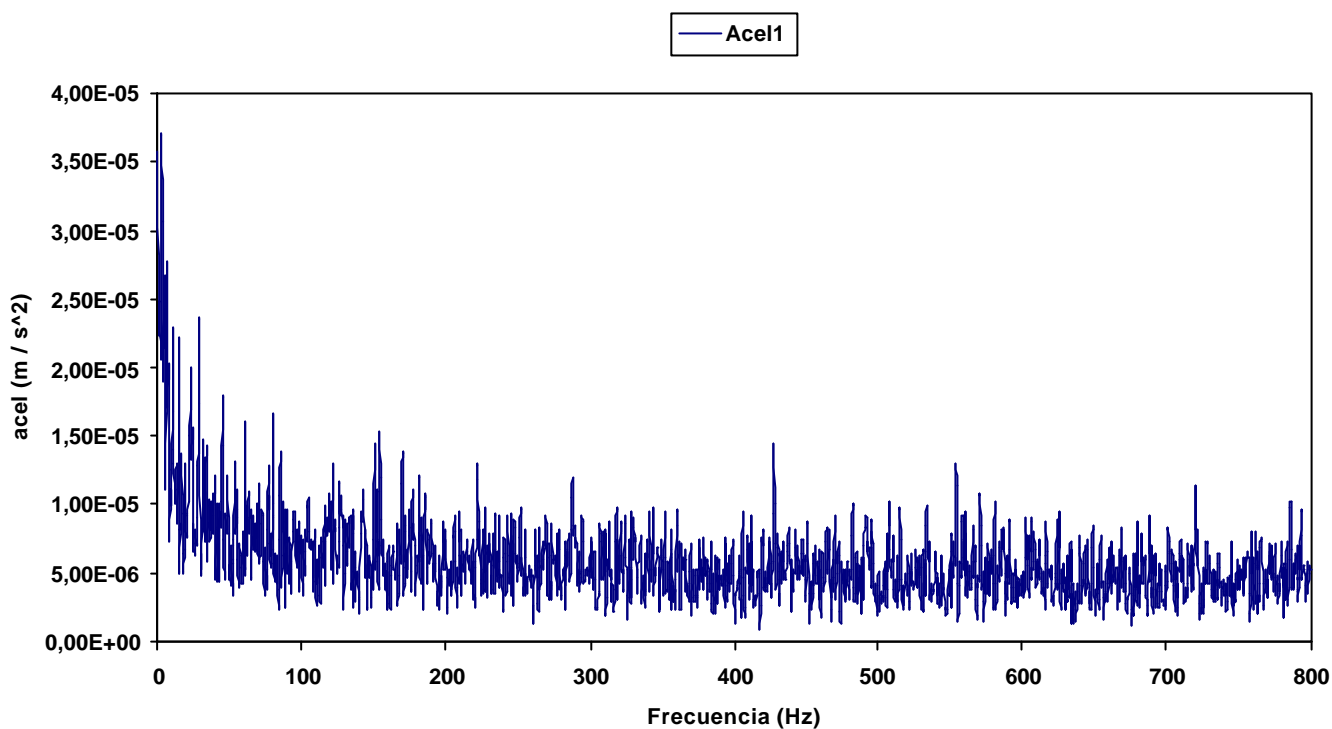


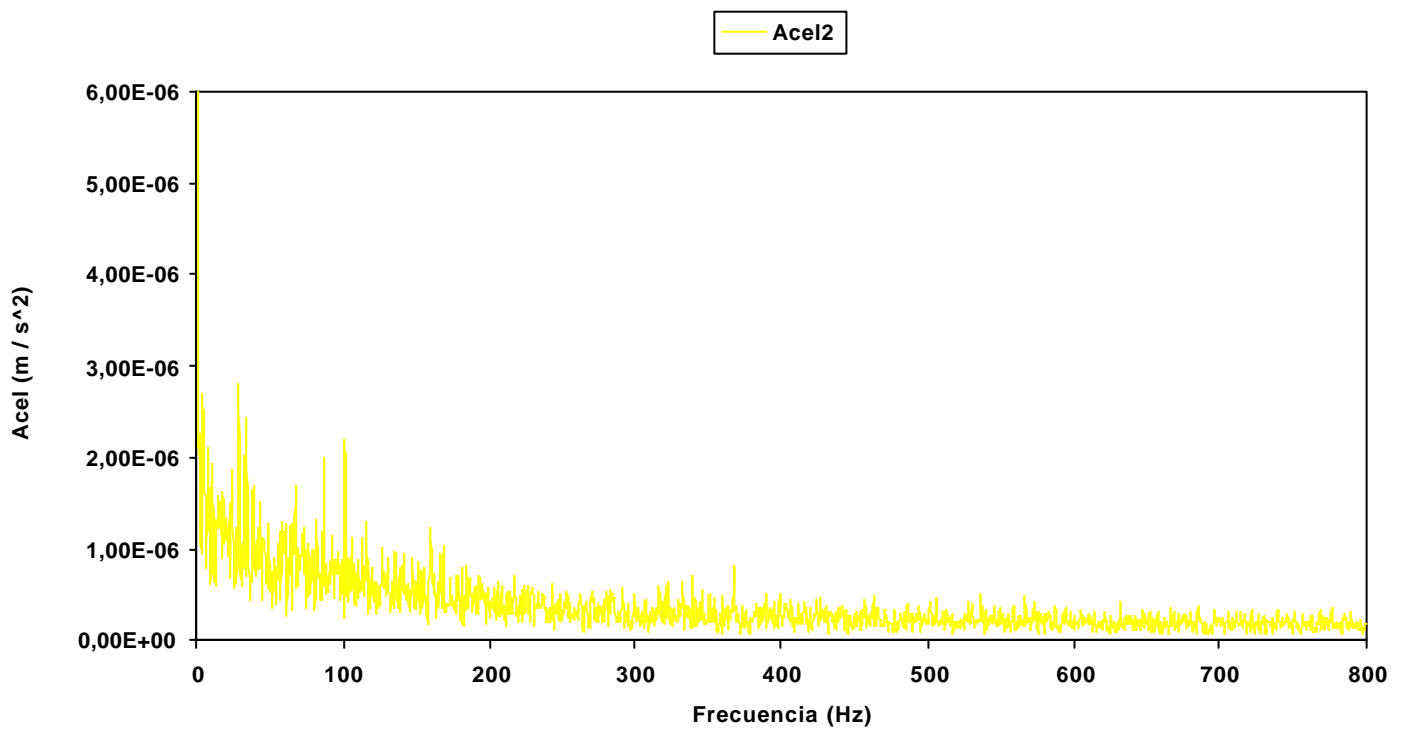
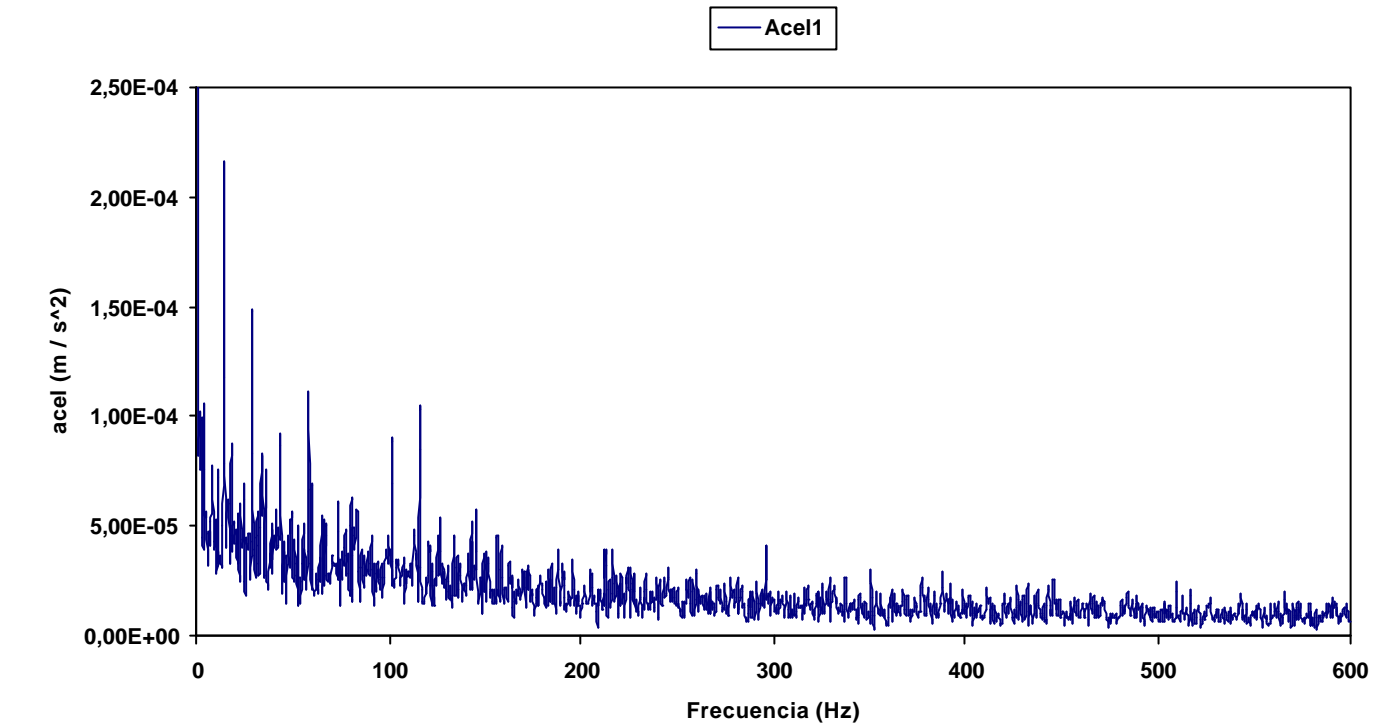
B.3.2. Punto de funcionamiento 161 (burbuja)

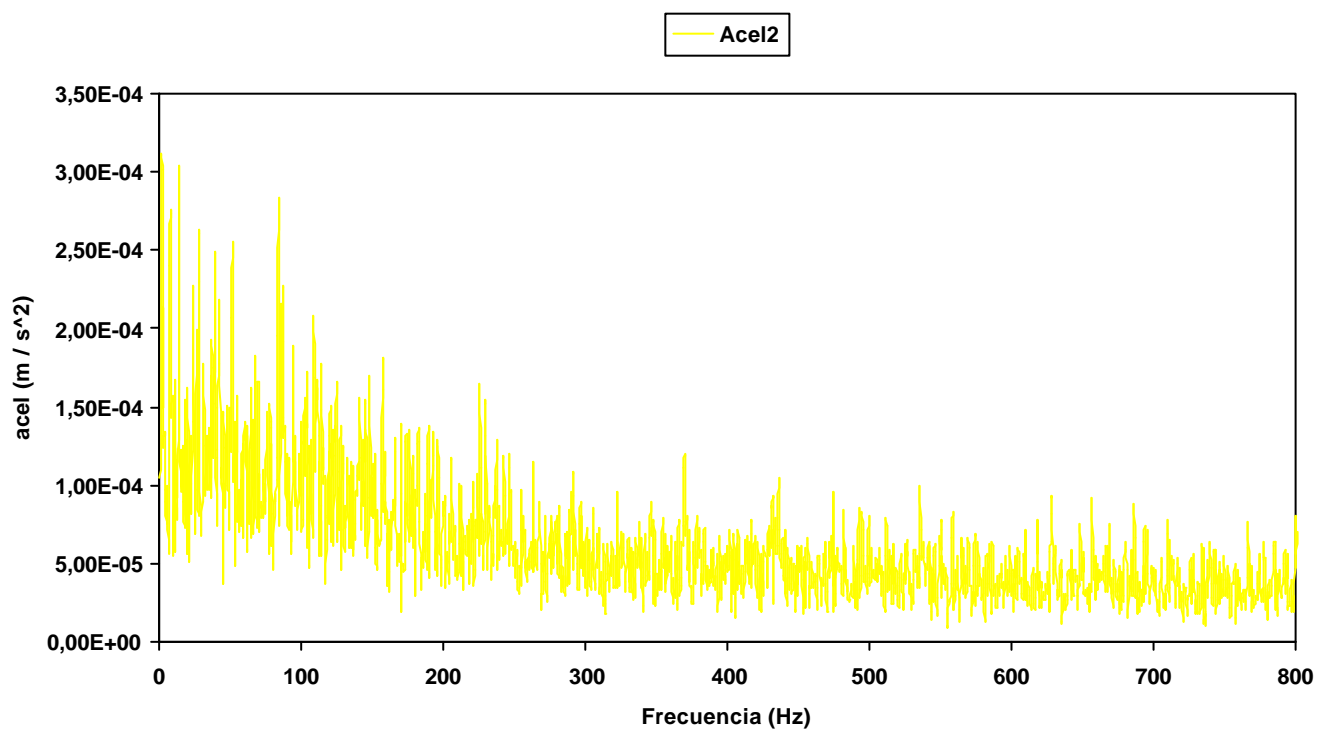
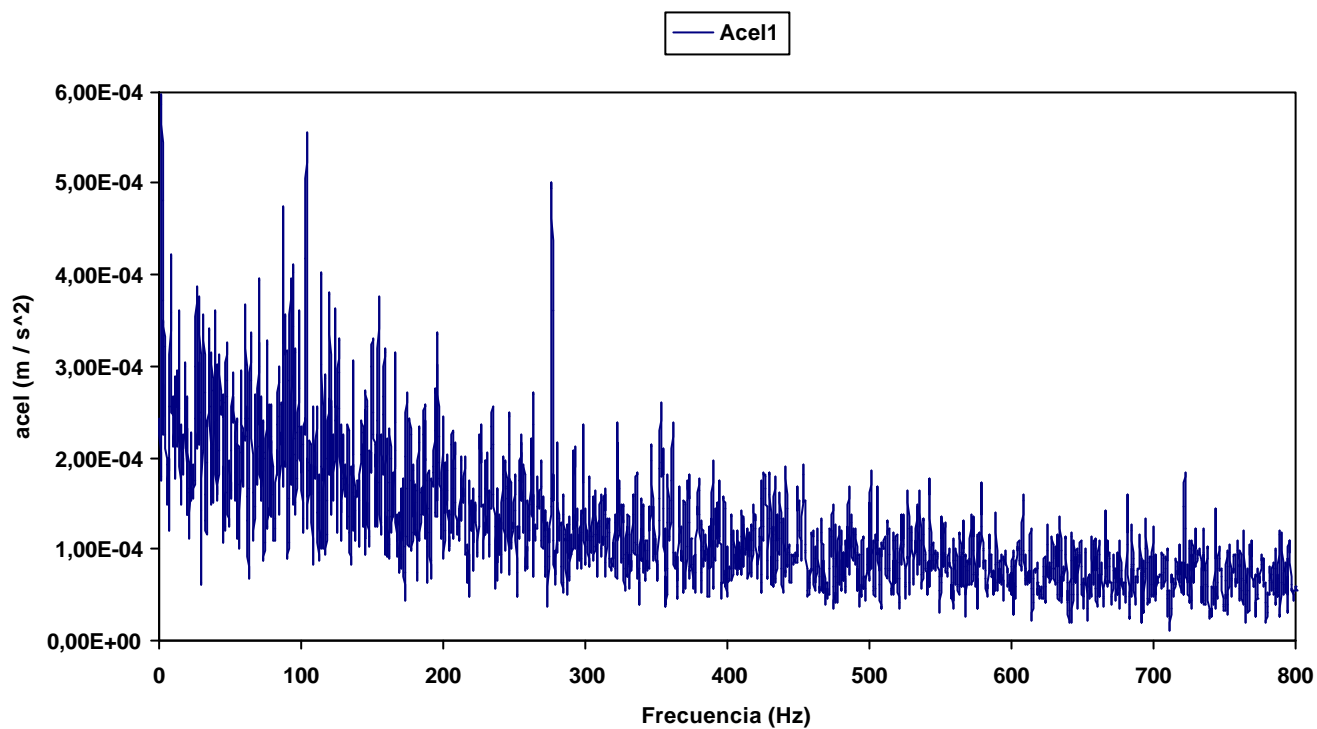


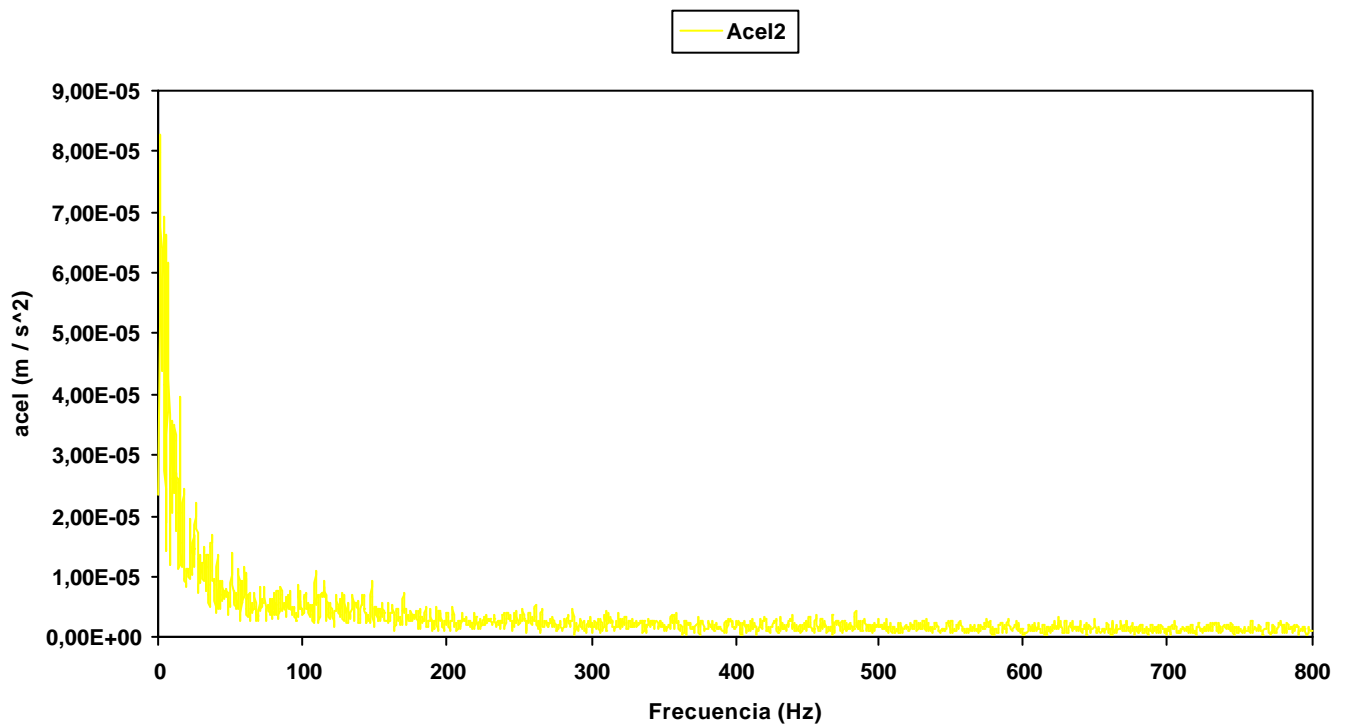
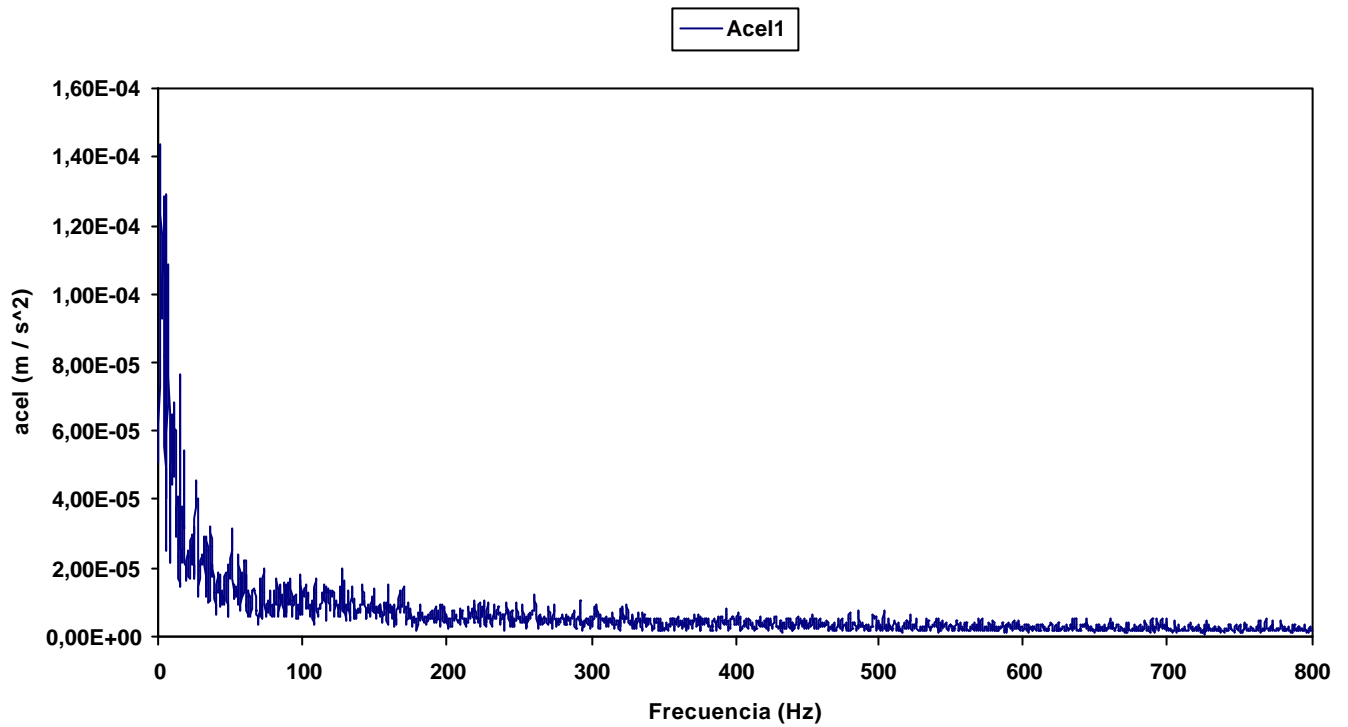
B.3.3. Punto de funcionamiento 162 (entrada)



B.3.4. Punto de funcionamiento 163 (sin cavitación)

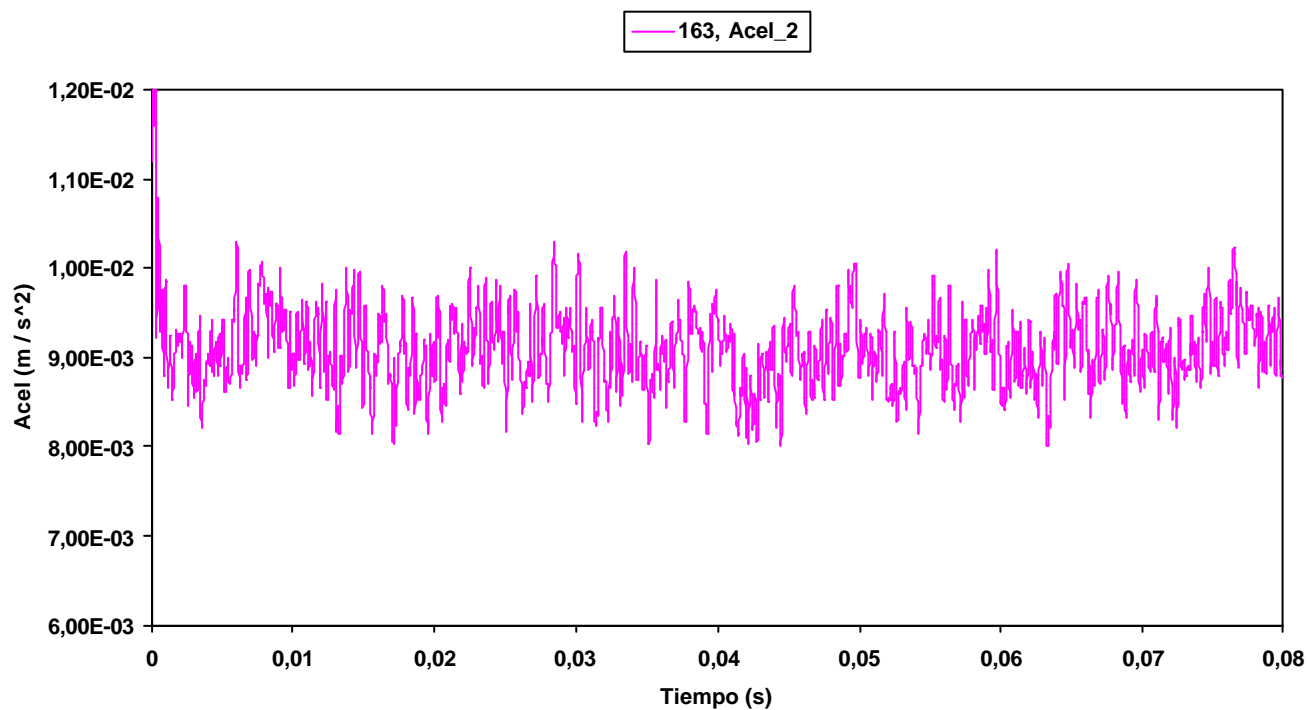
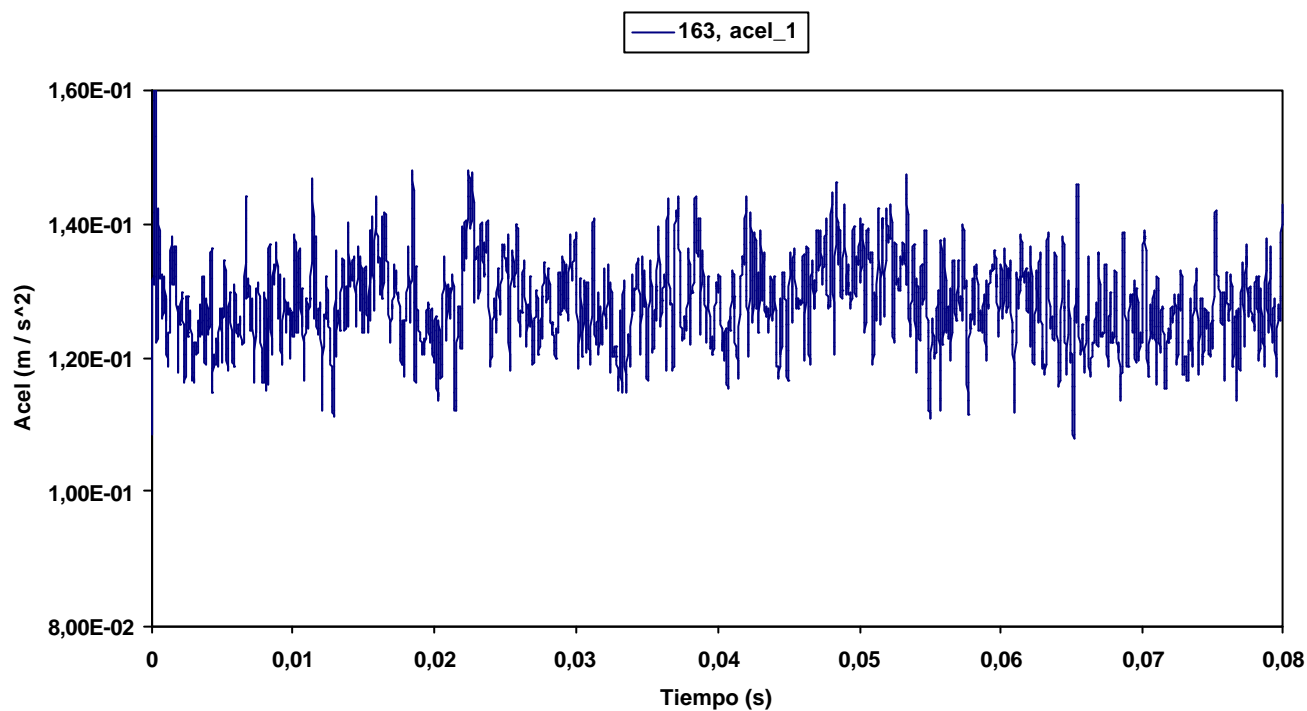
B.3.5. Punto de funcionamiento 164 (salida álabe)

B.3.6. Punto de funcionamiento 165 (burbuja)

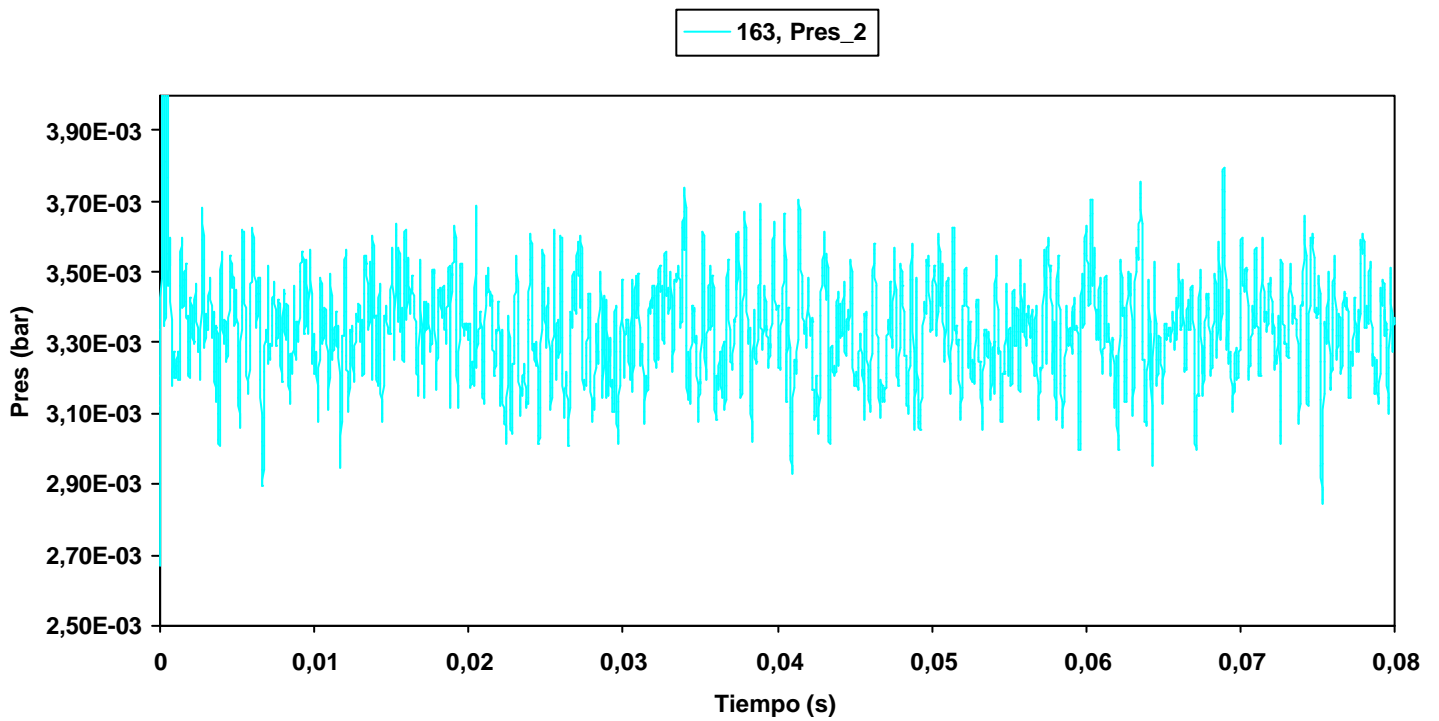
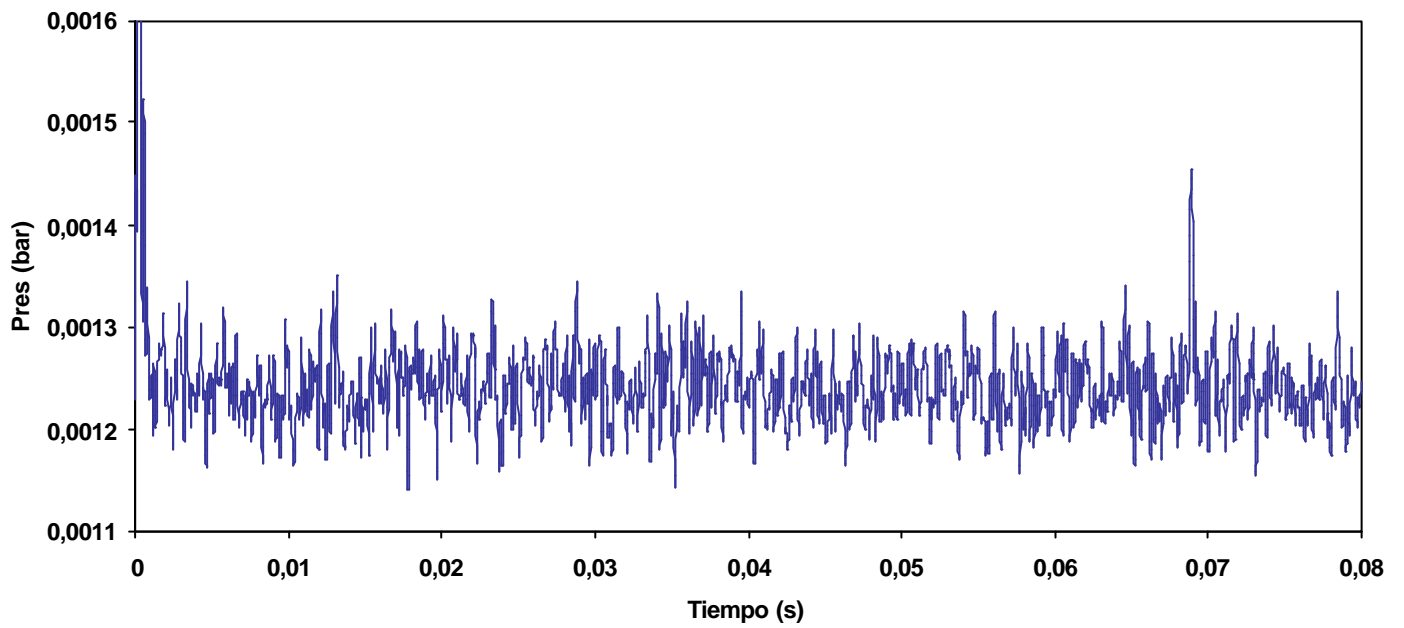
B.3.7. Punto de funcionamiento 166 (entrada)

B.4. Gráficas para las envolventes

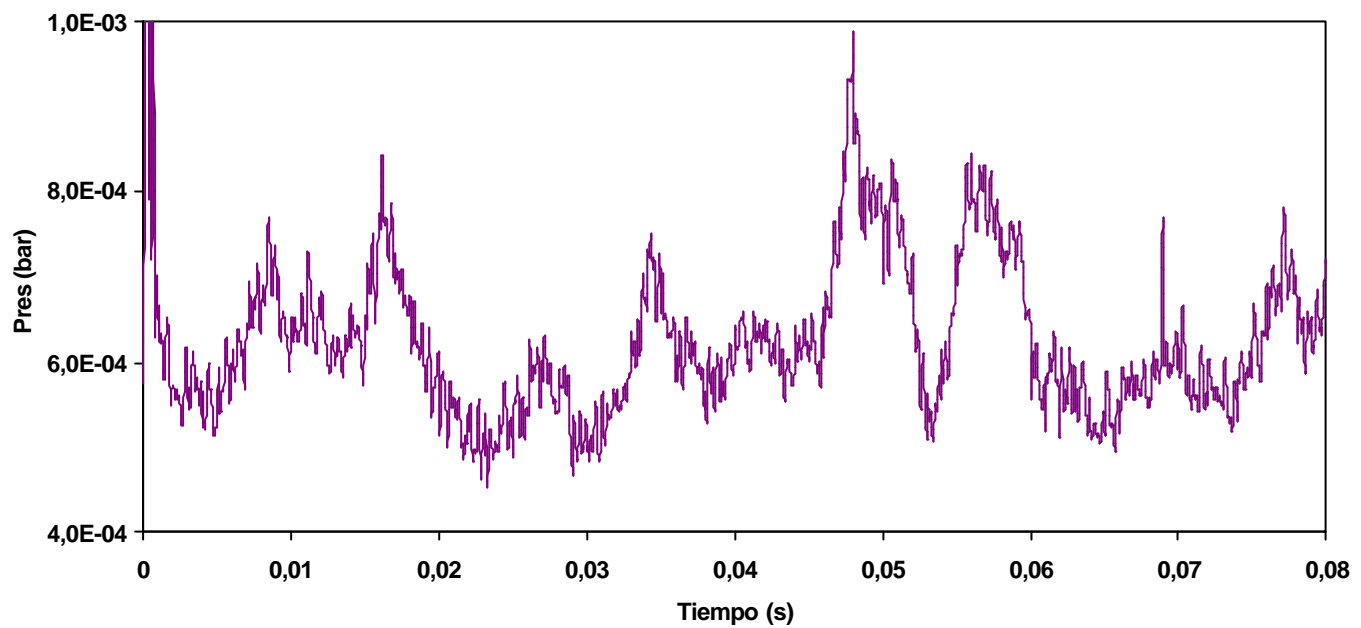
B.4.1. Punto de funcionamiento 163 (sin cavitación)



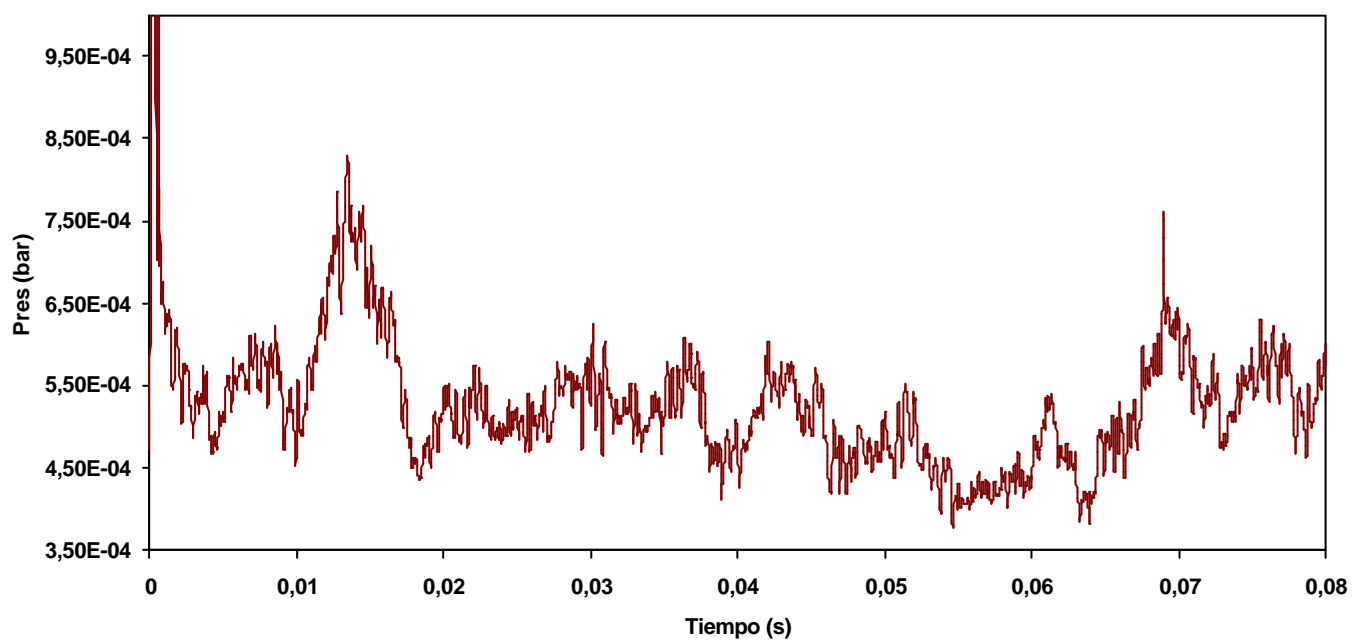
SIN CAV (P1)

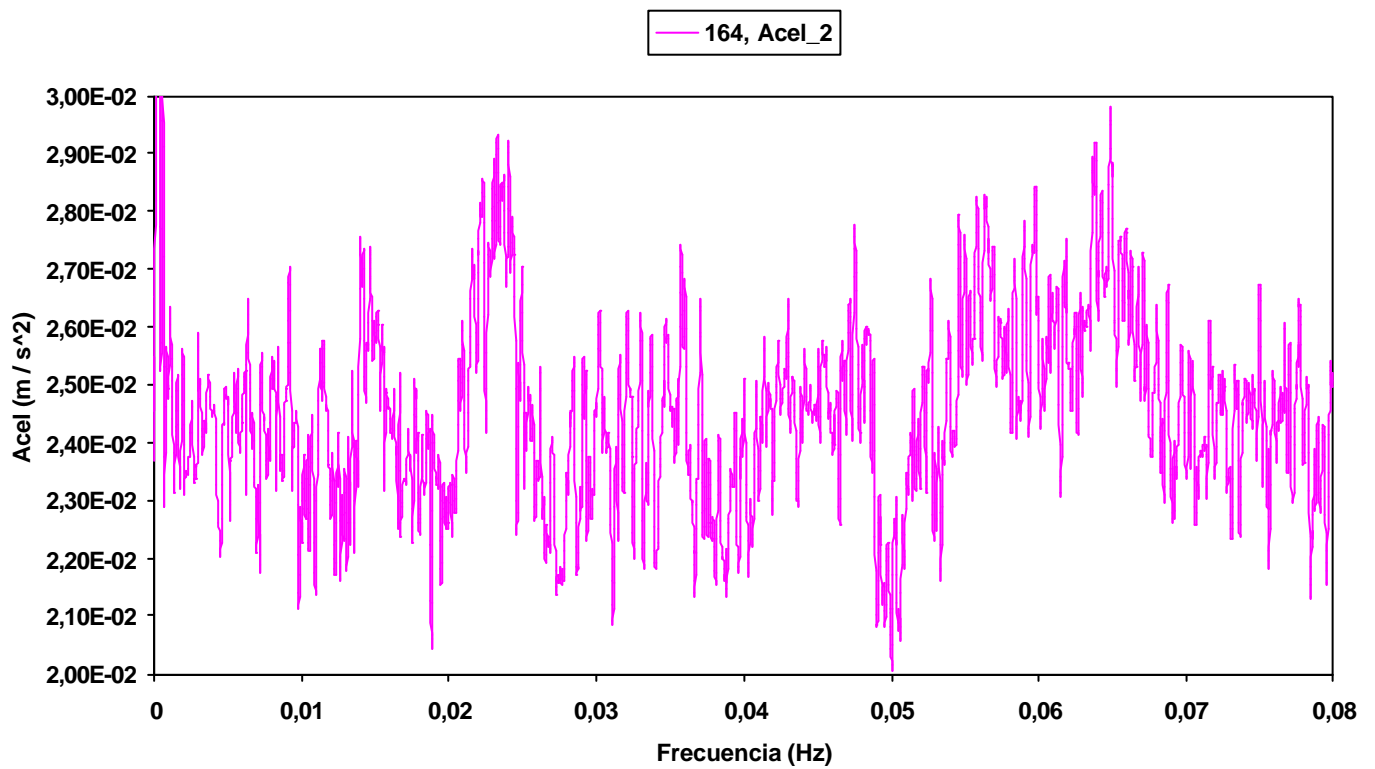
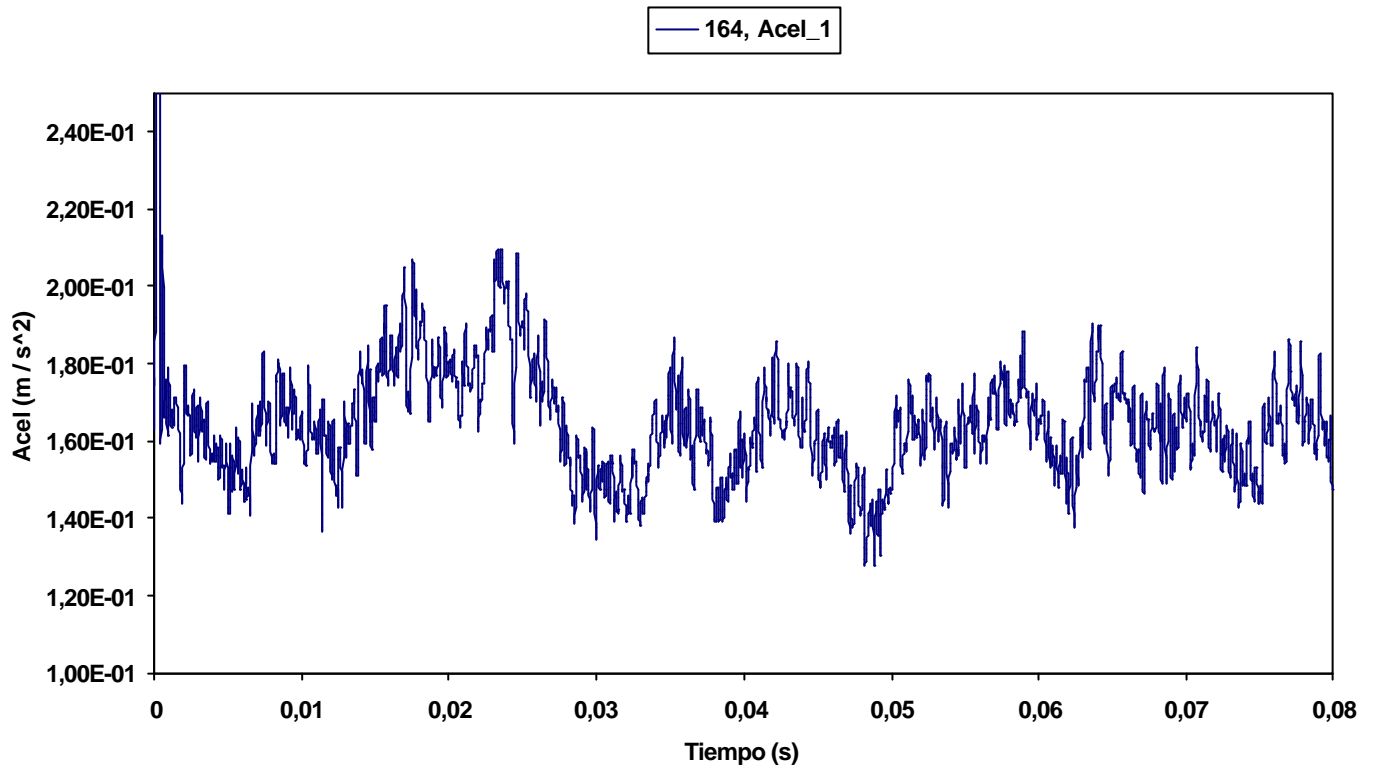


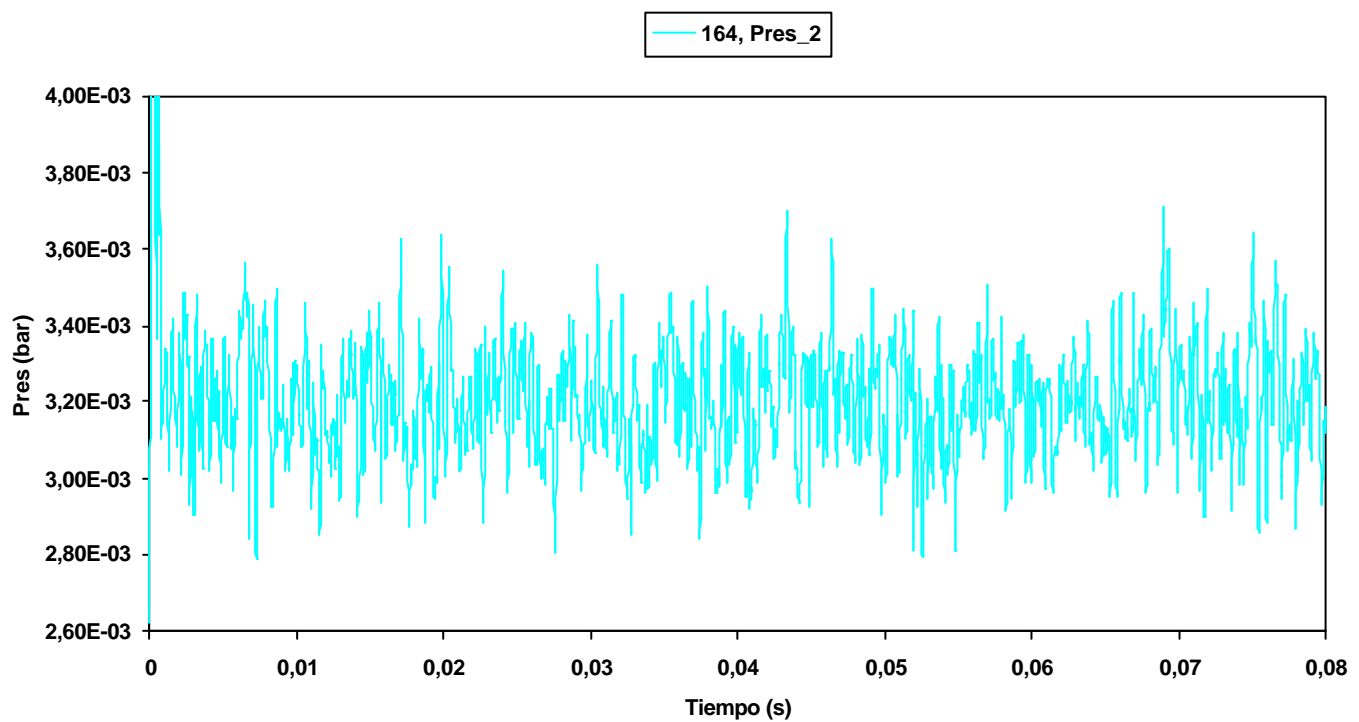
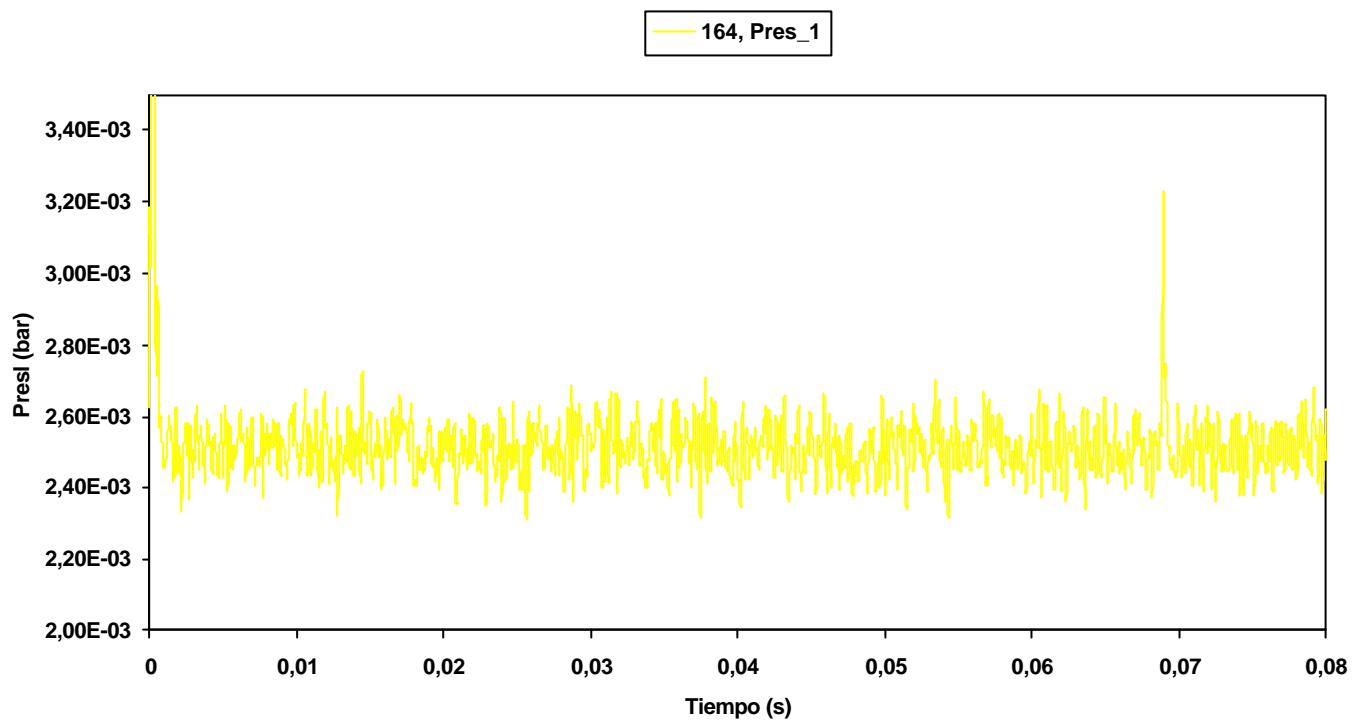
SIN CAV (P3)



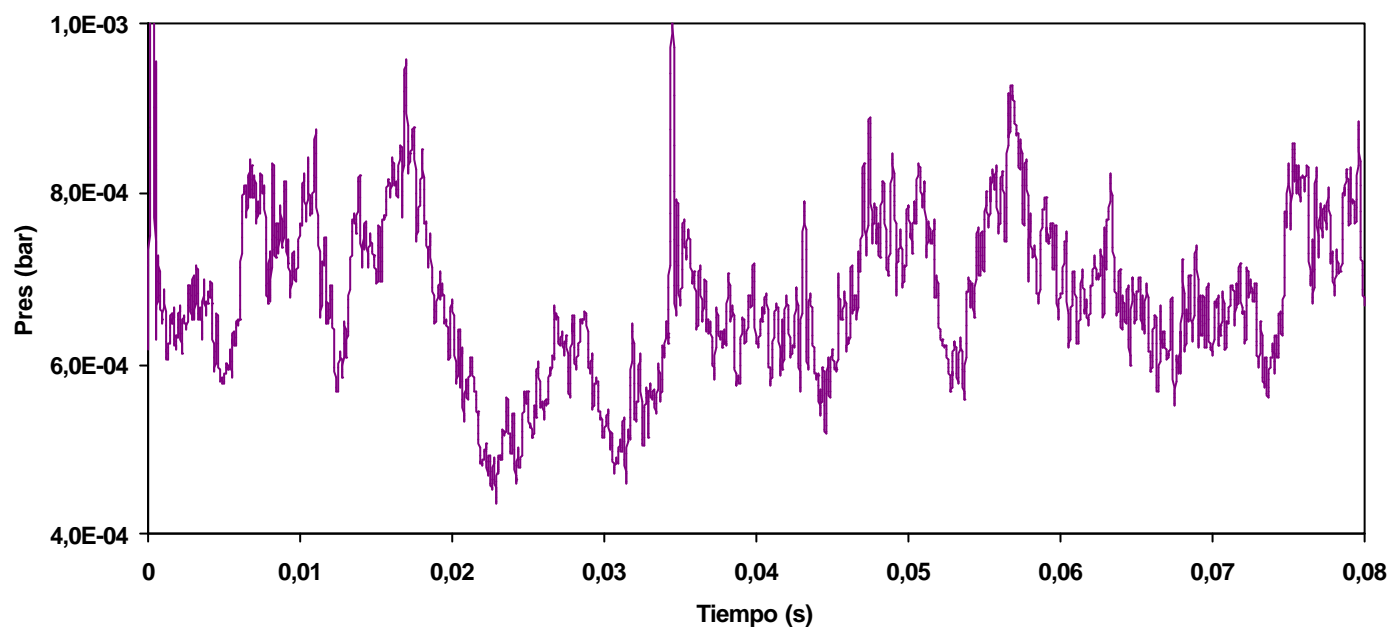
— 163, Pres_4



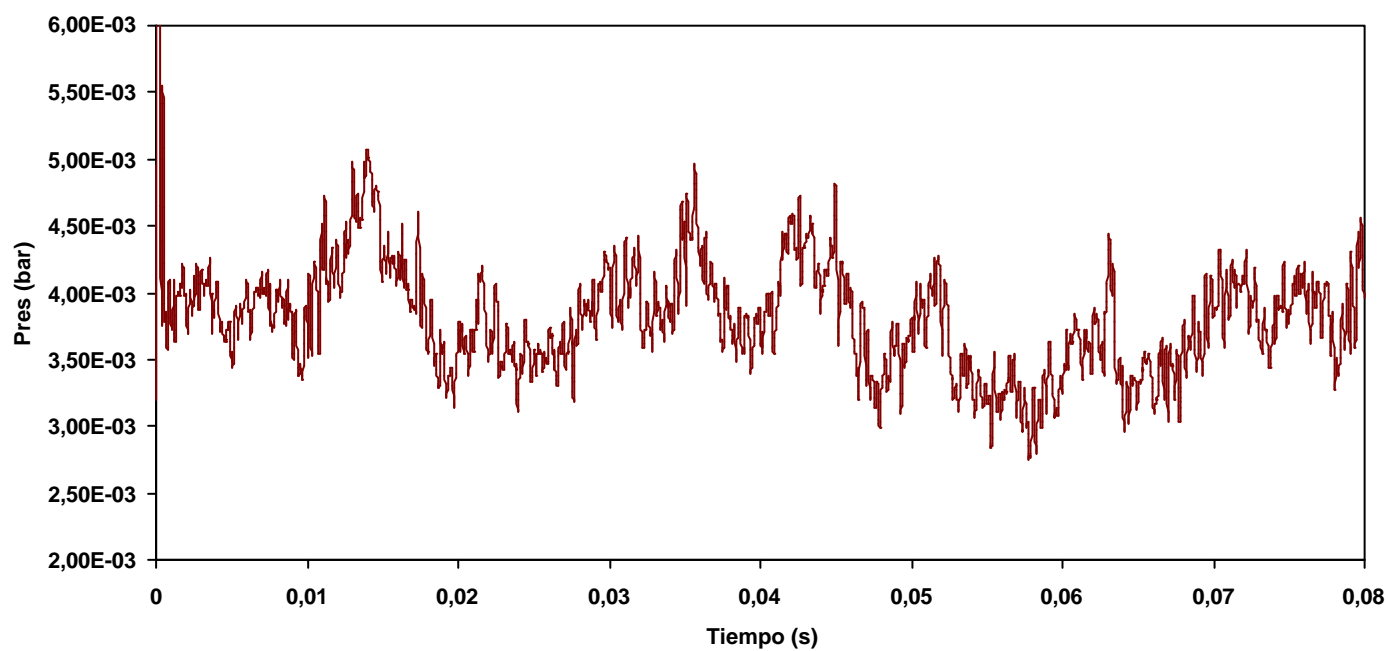
B.4.2. Punto de funcionamiento 164 (salida álabe)

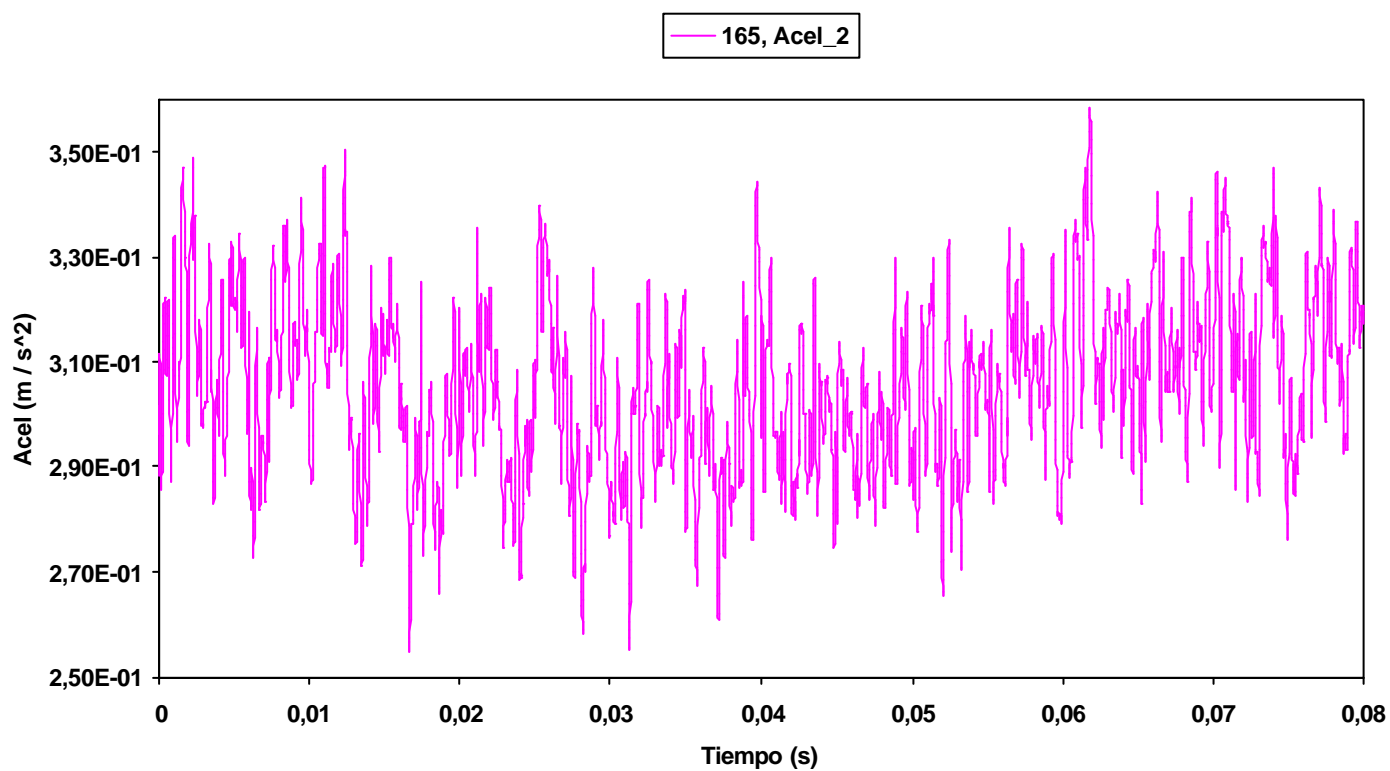
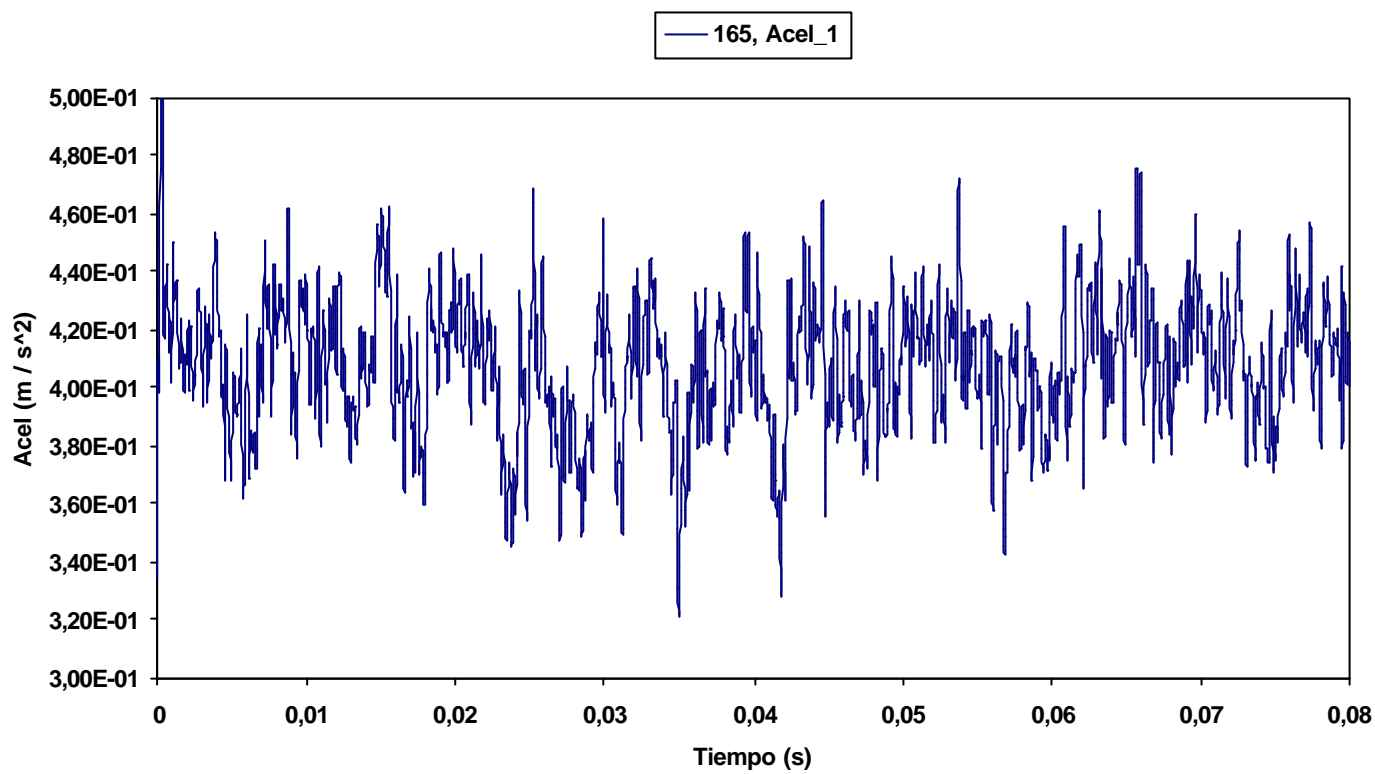


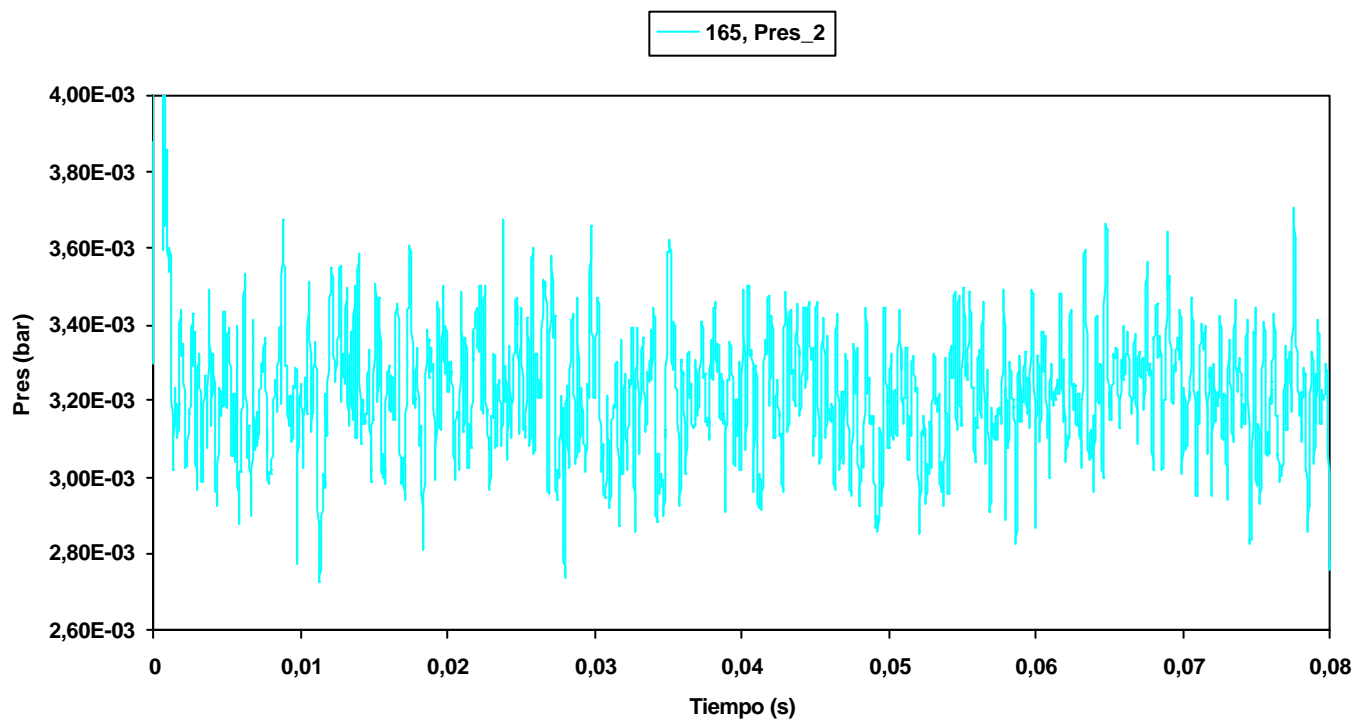
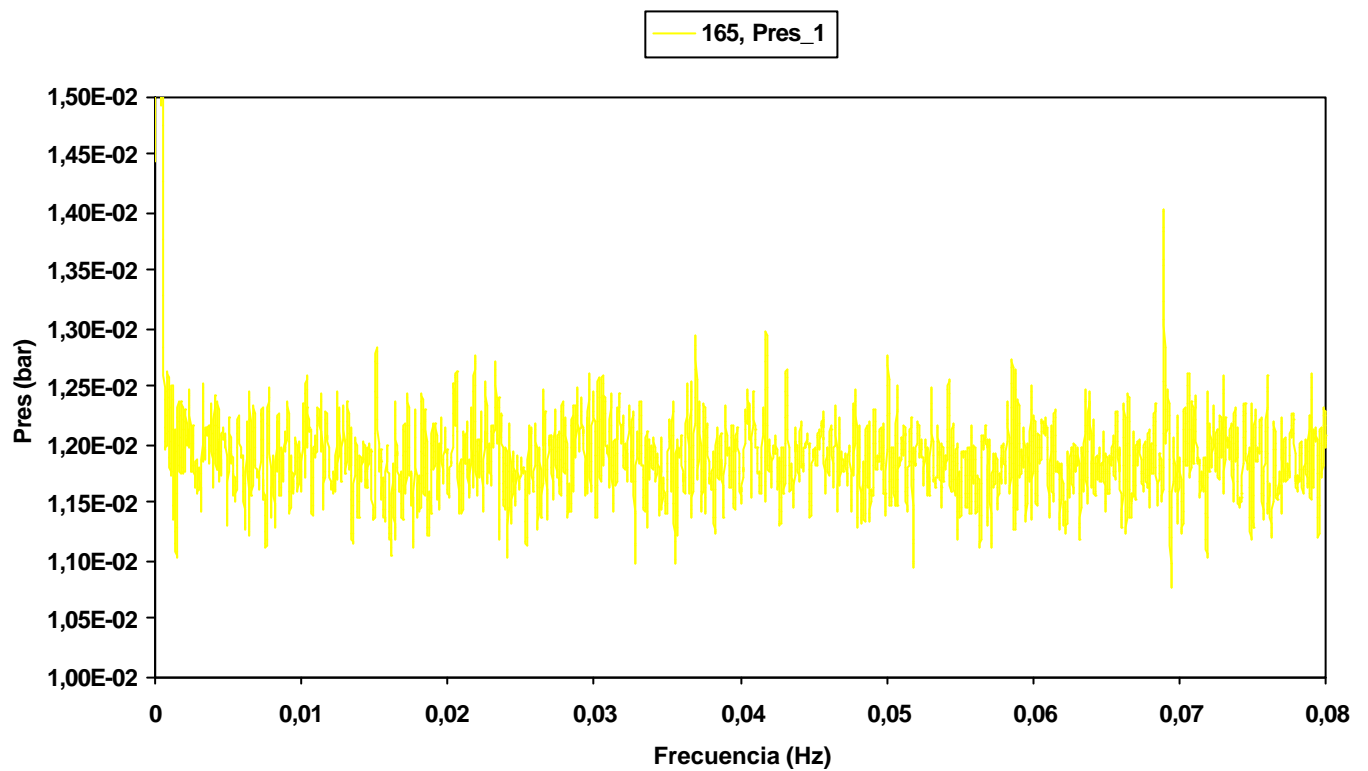
SALIDA (P3)



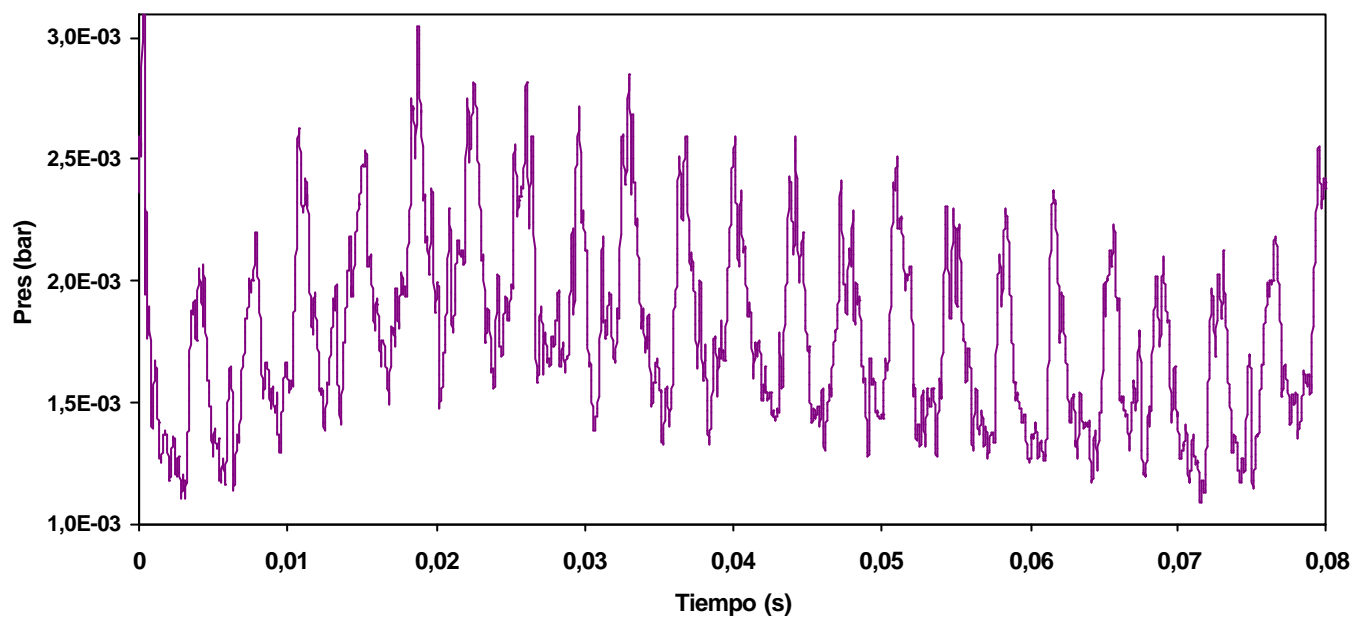
164, Pres_4



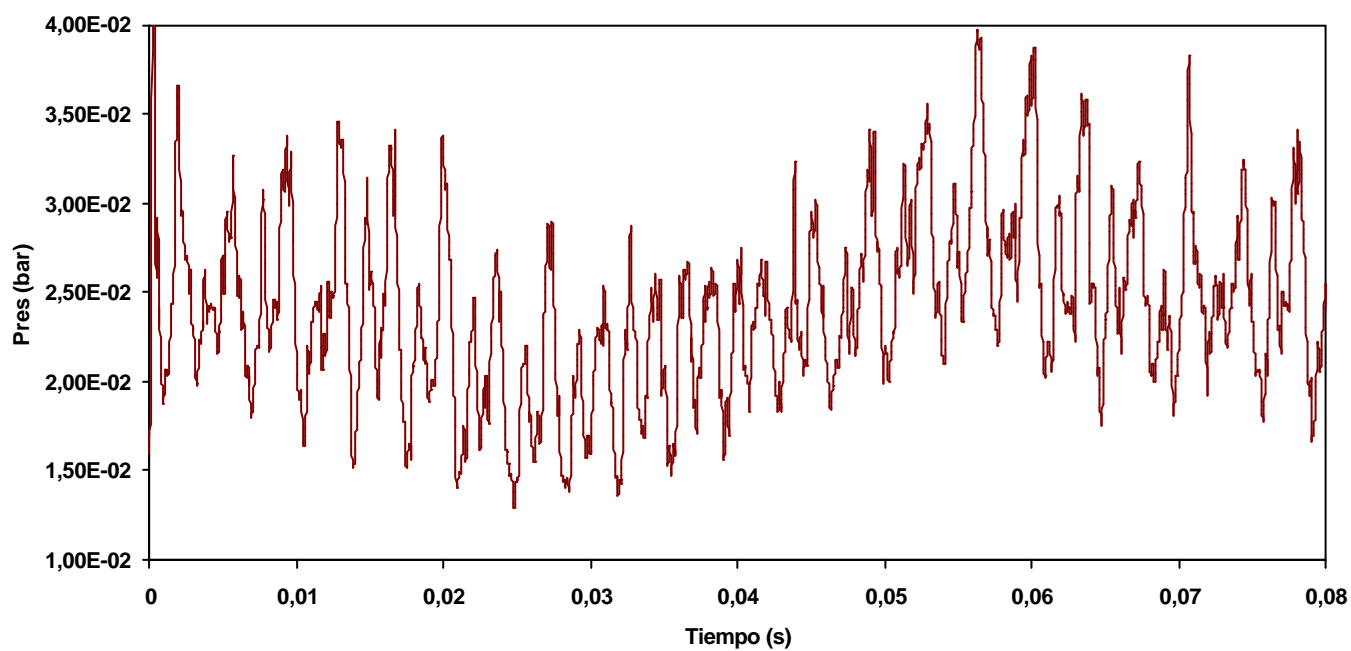
B.4.3. Punto de funcionamiento 165 (burbuja)

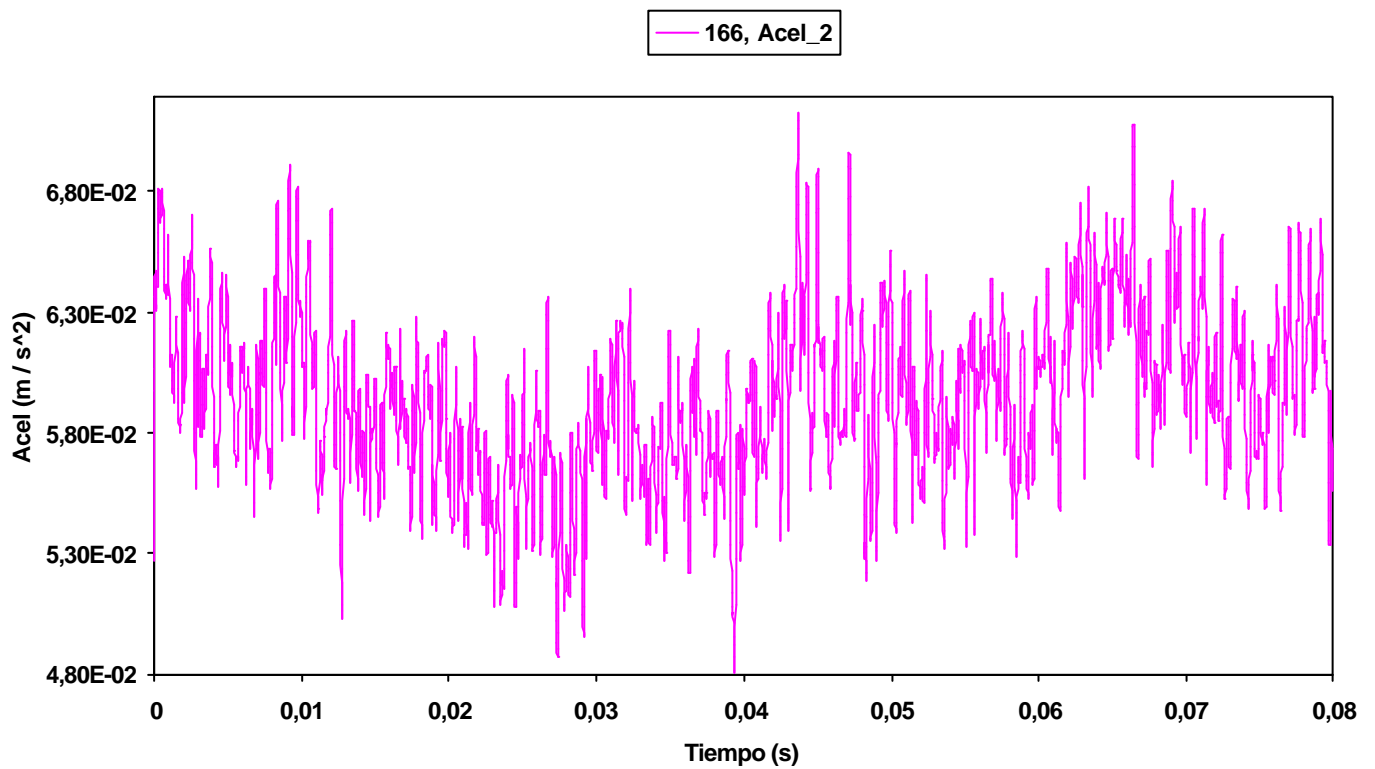
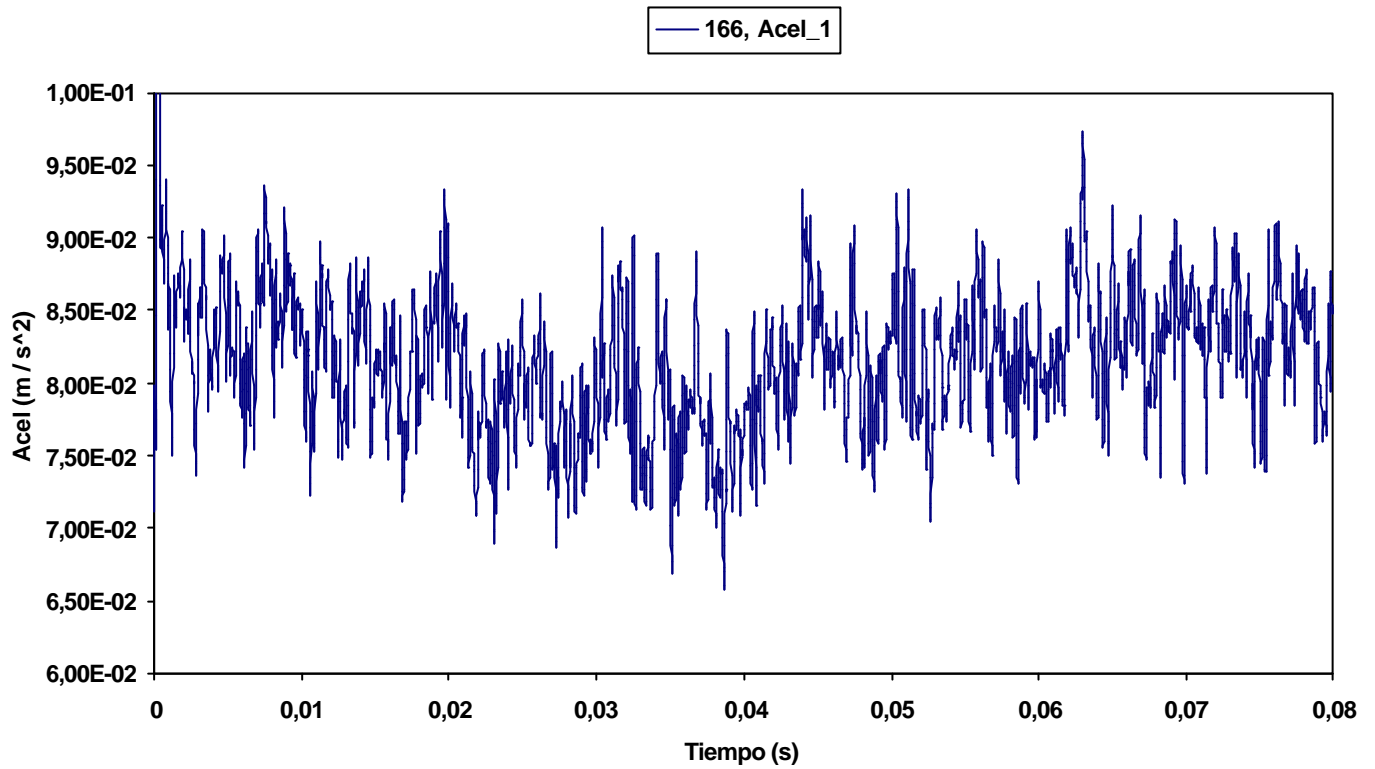


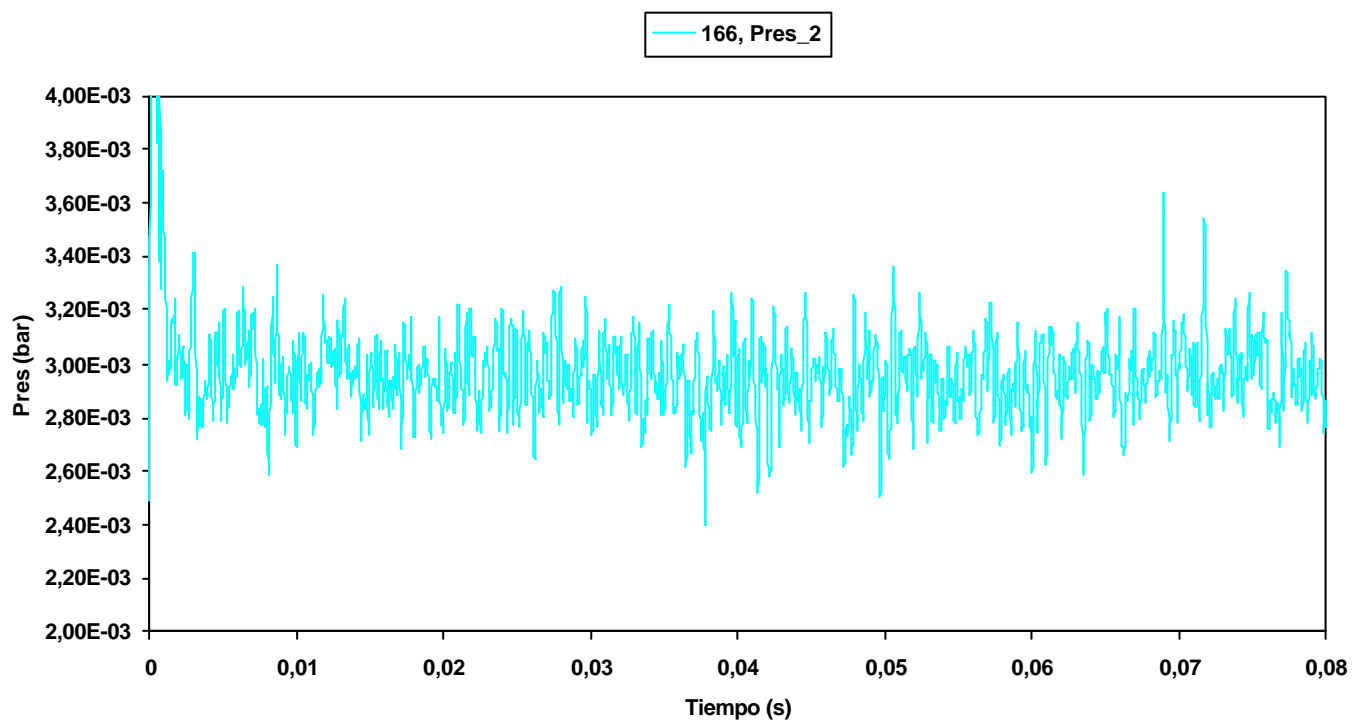
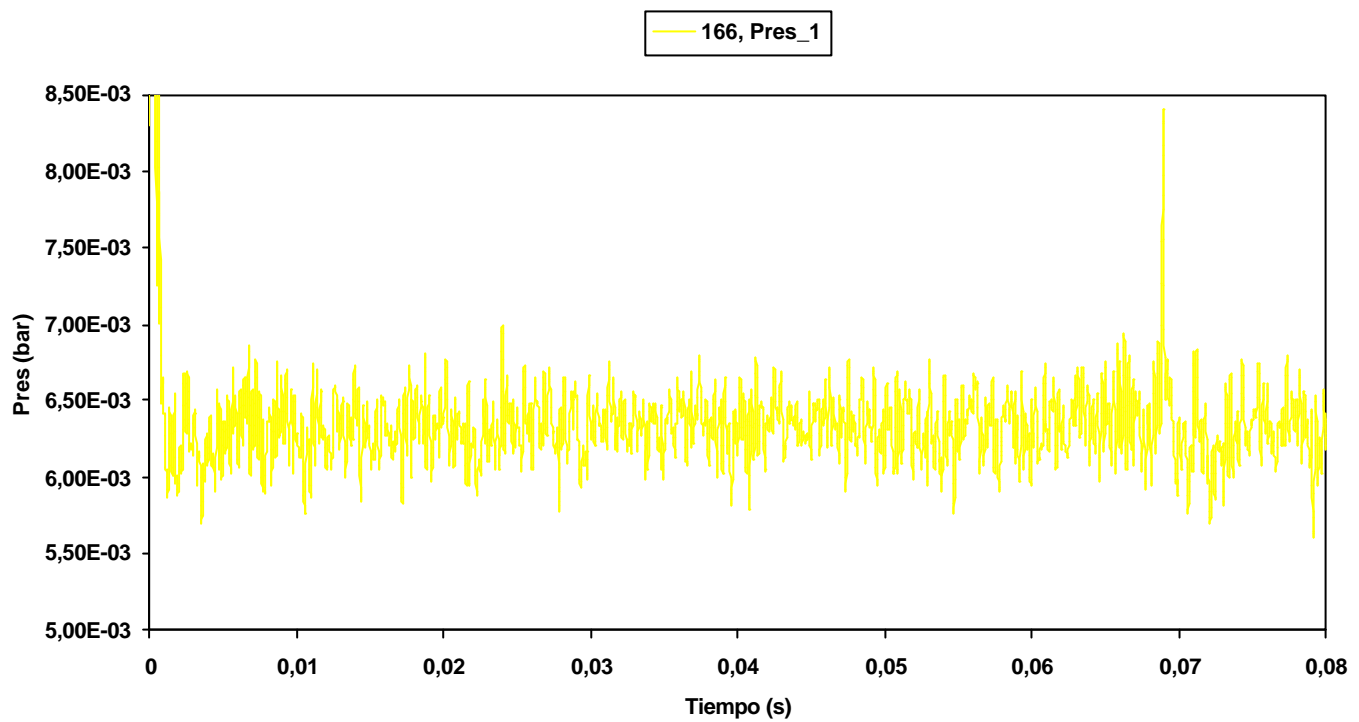
BURBUJAS (P3)



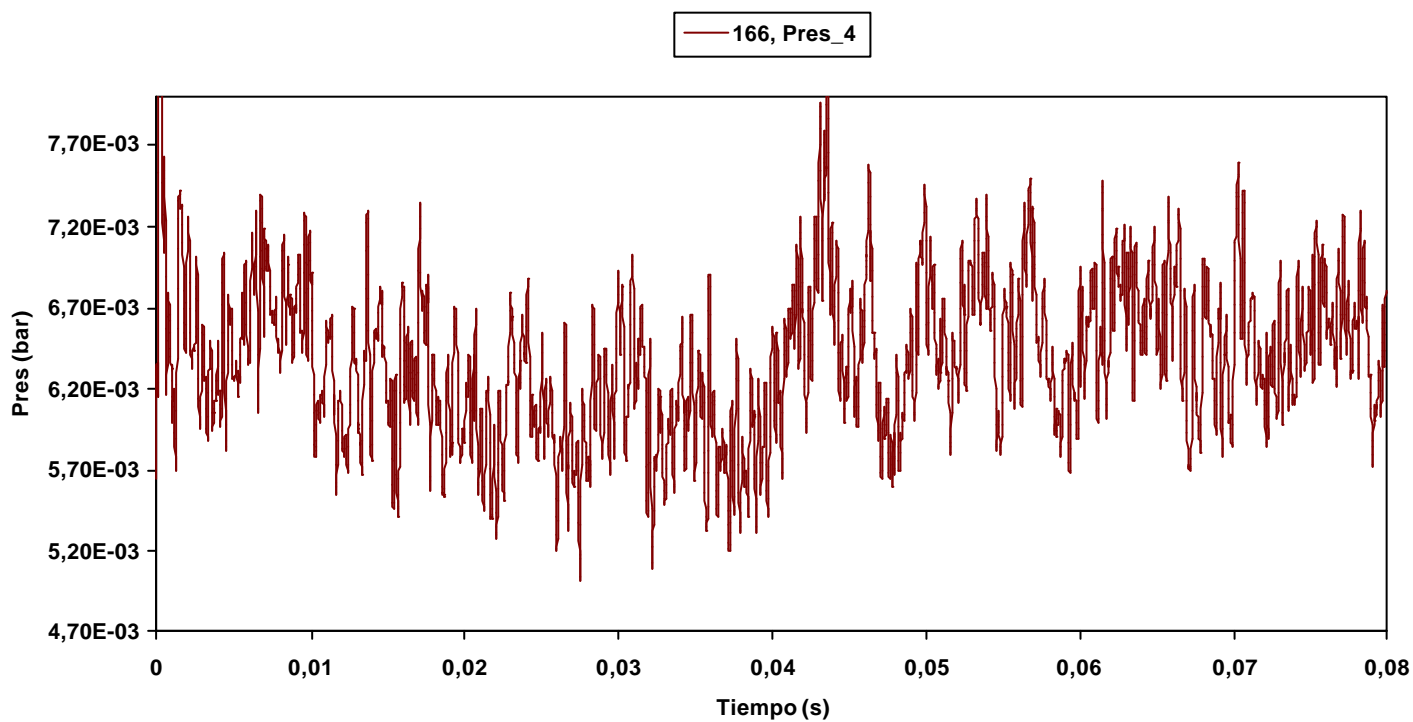
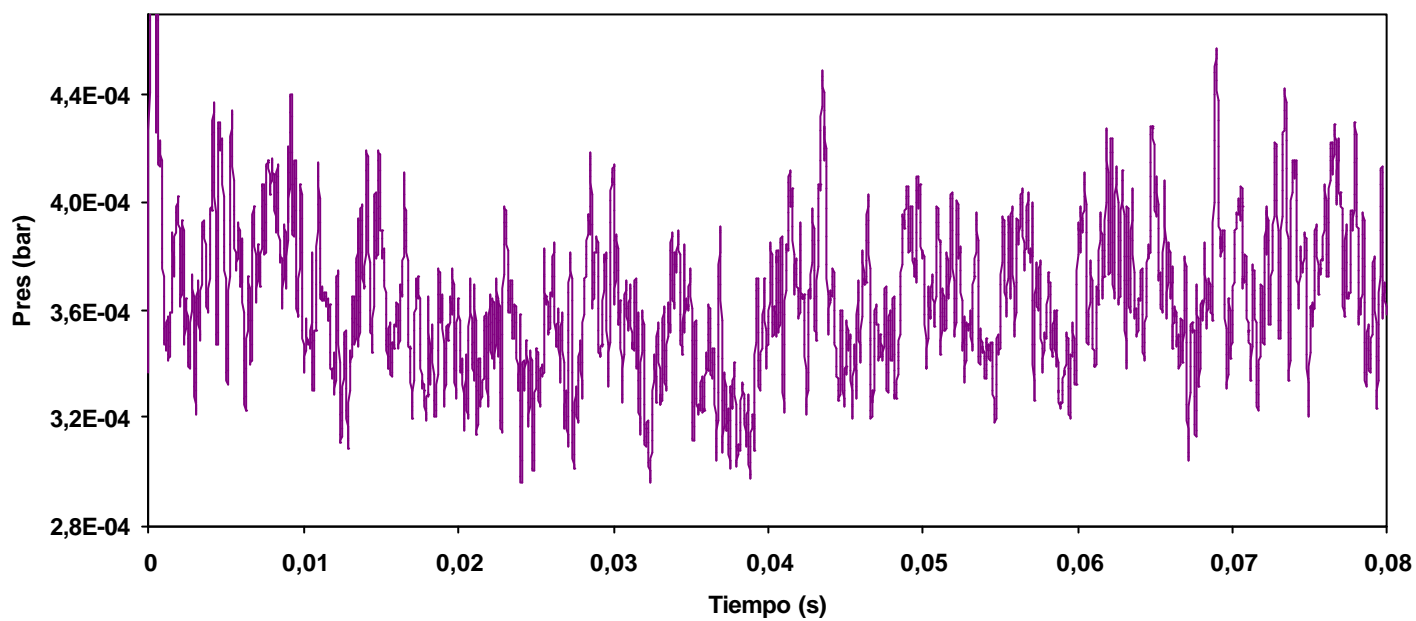
— 165, Pres_4

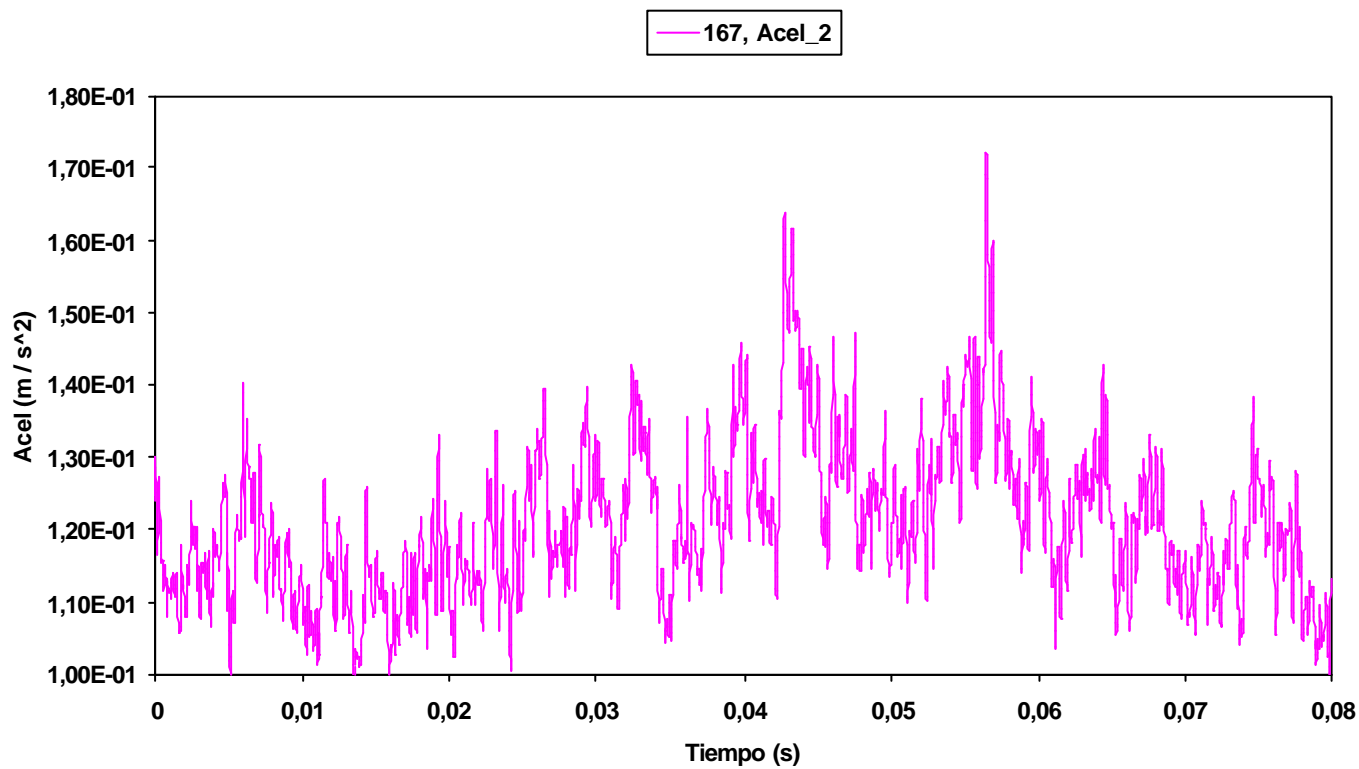
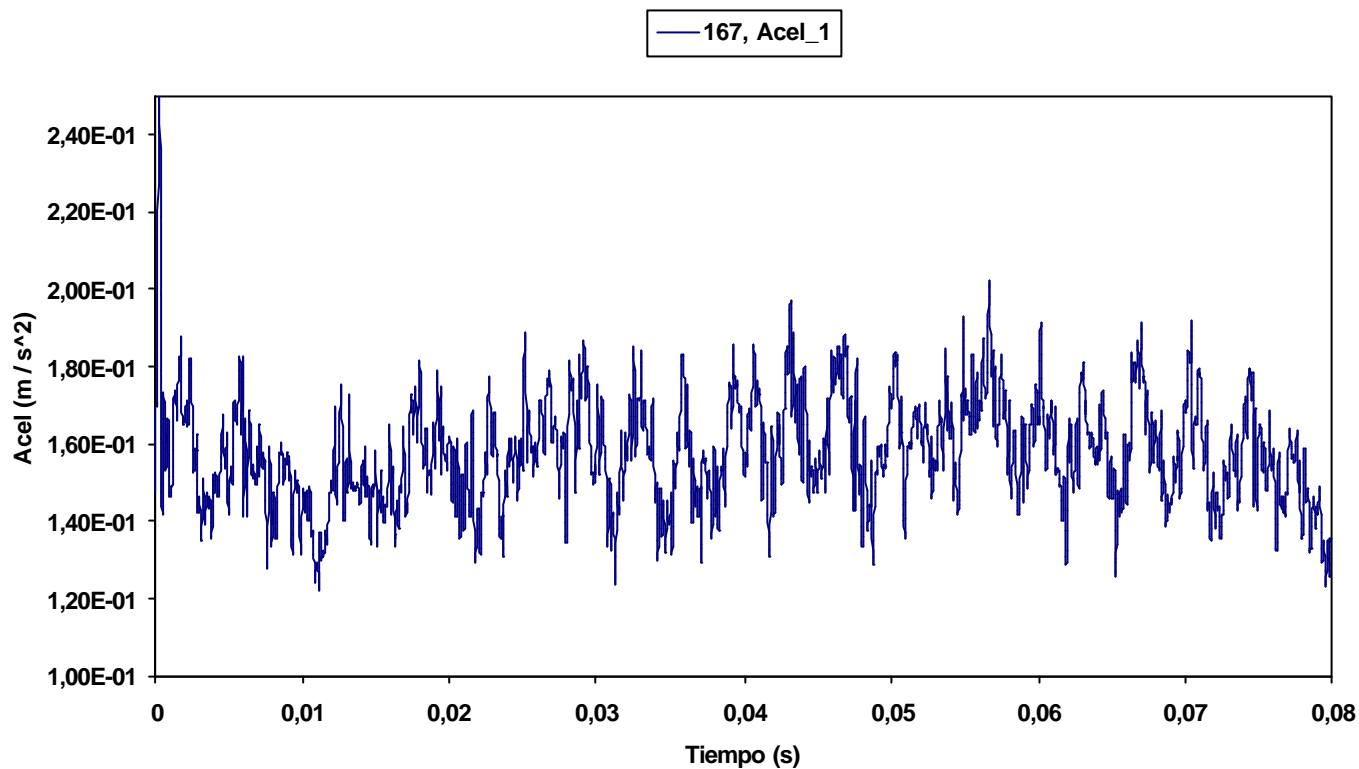


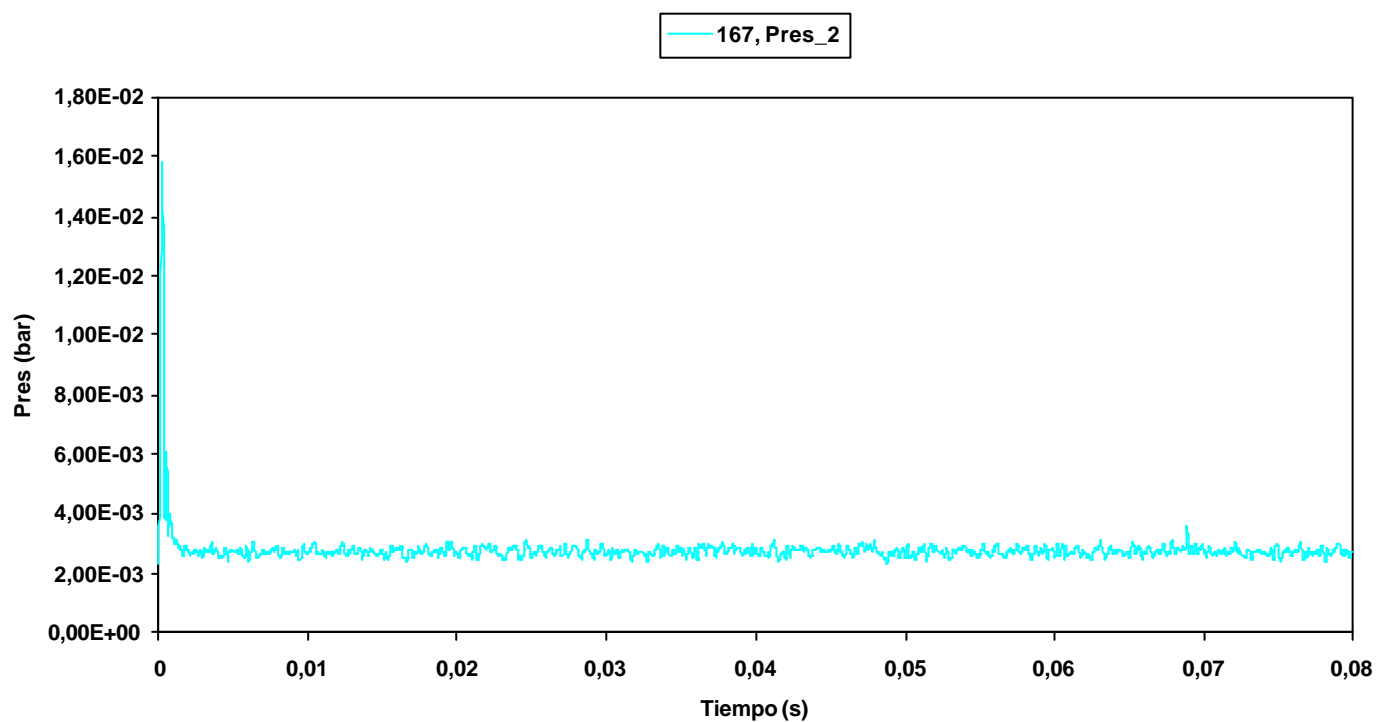
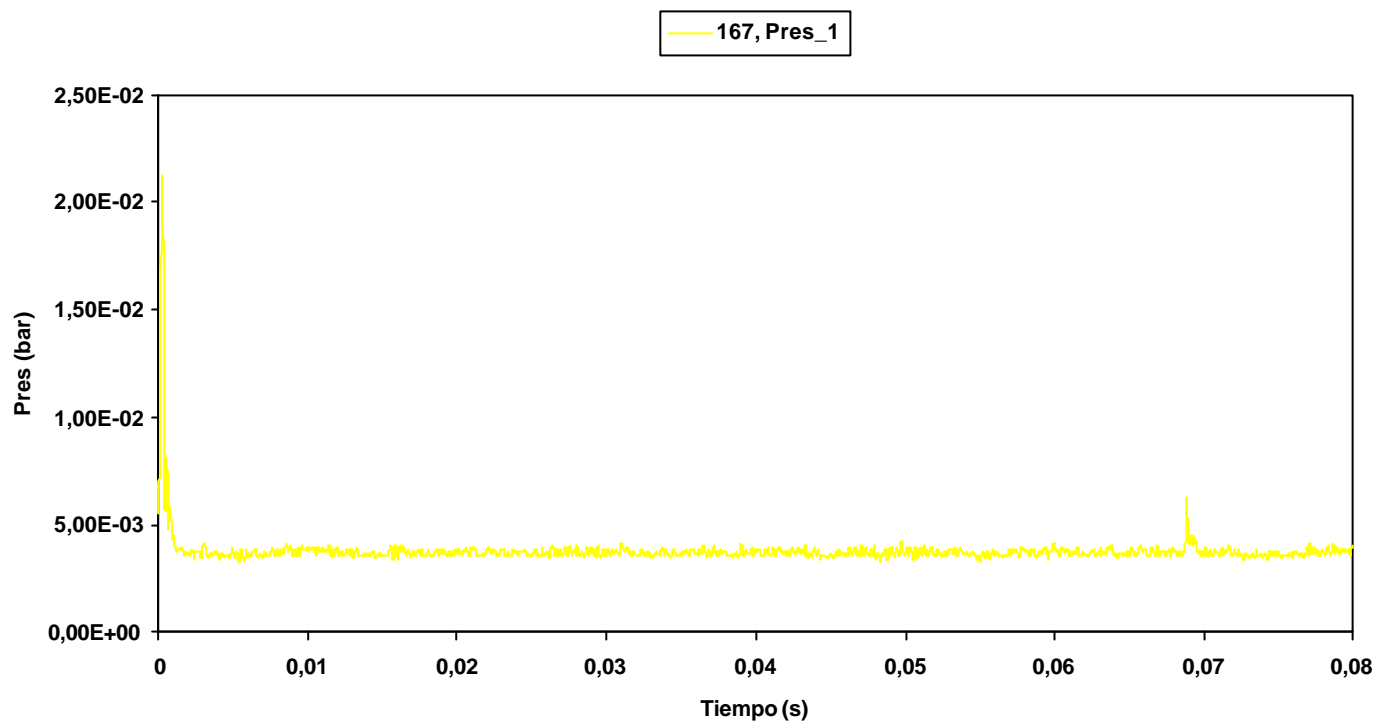
B.4.4. Punto de funcionamiento 166 (entrada)



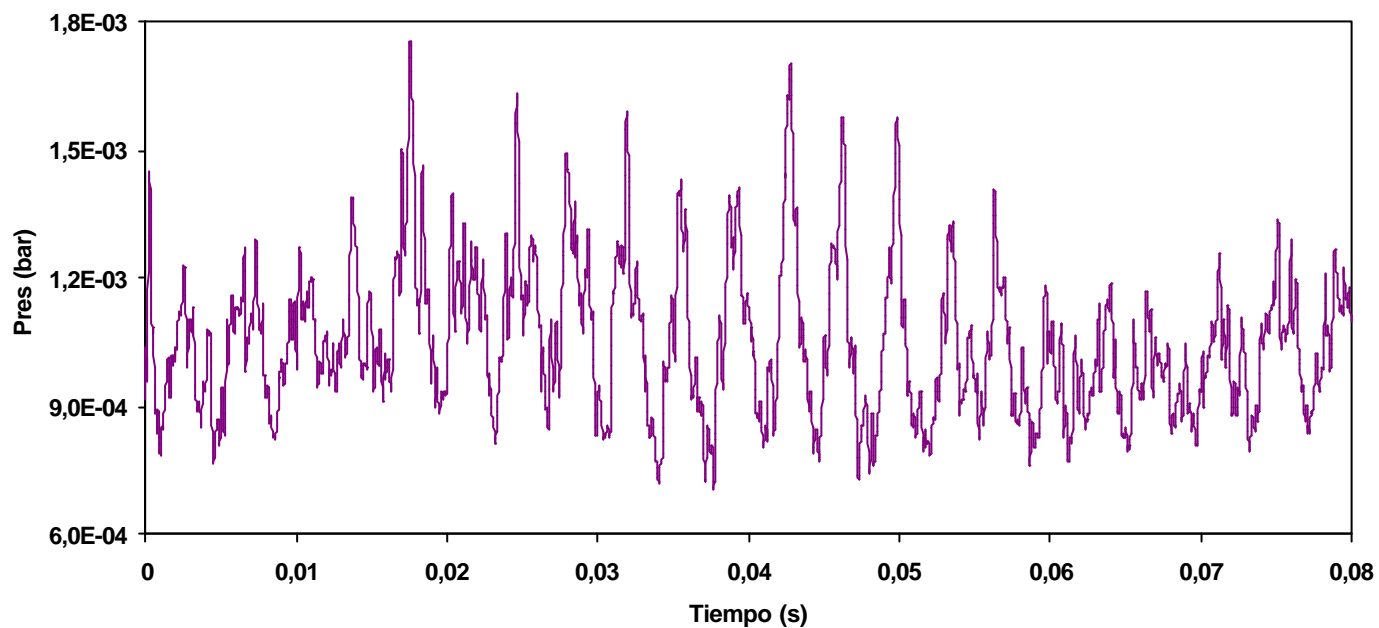
ENTRADA (P3)



B.4.5. Punto de funcionamiento 167 (salida + Von Karman)



SAL+VK (P3)



167, Pres_4

